



João Nuno Casaca Brissos

Licenciado em Engenharia Geológica

Avaliação de risco de instabilidade de arribas no troço Sines – Zambujeira do Mar (SW Alentejano)

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geológica (Geotecnia)

Orientador: Paulo do Carmo de Sá Caetano, Prof. Auxiliar, FCT/UNL

Co-orientador: Pedro Calé da Cunha Lamas, Prof. Auxiliar, FCT/UNL

Júri

Presidente: Prof.^a Doutora Ana Paula Fernandes da Silva
Arguente: Prof. Doutor Carlos Manuel Nunes da Costa
Vogais: Prof. Doutor Paulo do Carmo de Sá Caetano
Prof. Doutor Pedro Calé da Cunha Lamas



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2013



João Nuno Casaca Brissos

Licenciado em Engenharia Geológica

**Avaliação de risco de instabilidade de arribas no troço
Sines – Zambujeira do Mar (SW Alentejano)**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica (Geotecnia)

Orientador: Paulo do Carmo de Sá Caetano, Prof. Auxiliar, FCT/UNL

Co-orientador: Pedro Calé da Cunha Lamas, Prof. Auxiliar, FCT/UNL

Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Setembro 2013

Avaliação de risco de instabilidade de arribas no troço Sines – Zambujeira do Mar (SW Alentejano)

Copyright@ João Nuno Casaca Brissos, 2013

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou em forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação foi o culminar de um objetivo académico traçado, resultado de extensas horas de estudo e dedicação, só possível de alcançar graças ao apoio e suporte de diversas pessoas, a quem expresso os mais sinceros agradecimentos:

- ✓ Ao Prof. Paulo Caetano pela orientação, amizade, confiança e crítica, bem como pelo fornecimento de documentação adequada, conhecimentos e motivação necessária ao desenvolvimento do trabalho;
- ✓ A Prof. Pedro Lamas pela orientação, amizade e incansável paciência e disponibilidade demonstradas na revisão e crítica deste trabalho;
- ✓ À Prof.^a Ana Paula Silva pela amizade e incentivo ao longo de todo o percurso académico;
- ✓ À Prof.^a Graça Brito pelo entusiasmo sempre demonstrado e disponibilidade para tirar qualquer dúvida;
- ✓ À APA na pessoa da Doutora Maria Isabel Pinheiro pela disponibilização de informação técnica actualizada que muito contribuiu para o desenvolvimento do trabalho;
- ✓ Ao LNEG na pessoa do Doutor João Xavier Matos pelo entusiasmo, amizade e disponibilização de informação cartográfica actualizada;
- ✓ Aos meus pais por todo o amor, apoio e motivação mesmo após tantos precalços na vida;
- ✓ À minha irmã pelo exemplo que representa para todos e pelo incansável apoio, carinho e paciência nos trabalhos de campo e revisão bibliográfica;
- ✓ Aos meus avós a quem devo tudo;
- ✓ À Ana pelo companheirismo e por estar sempre lá para me amparar nas quedas;
- ✓ A todos os meus amigos e colegas que, de uma forma ou de outra, mais ou menos marcadamente, contribuíram para a realização deste trabalho;

Ao meu avô.

RESUMO

Com a presente dissertação pretende-se avaliar o risco associado à ocorrência de movimentos de terreno nas arribas rochosas que modelam a orla costeira Alentejana entre Sines e a Zambujeira do Mar.

O estudo foi iniciado com recolha de elementos bibliográficos respeitantes a alguns locais já inventariados e diagnosticados como áreas potenciais de risco por organismo público competente, no caso a Administração da Região Hidrográfica-Alentejo (ARH Alentejo, actualmente integrada na Agência Portuguesa do Ambiente). Efectuaram-se depois observações de campo que, numa primeira fase, tiveram como objectivo aferir as características geológico-geotécnicas das arribas bem como evidências de instabilidade nas mesmas e os riscos associados em termos de vulnerabilidade exibida. Como resultado desta primeira fase de avaliação, foram elaboradas fichas de inventariação para cada local seleccionado e foi estabelecida uma avaliação preliminar do risco.

Com base nos resultados obtidos na primeira fase, seguiu-se um estudo pormenorizado da estabilidade das arribas da praia da Zambujeira do Mar, onde se tinham observado as situações mais desfavoráveis em termos de avaliação do risco. Sobre o maciço rochoso que modela estas arribas, inventariaram-se inicialmente as características geométricas e mecânicas das descontinuidades com recurso à *scanline sampling technique*. Procedeu-se igualmente a ensaios com esclerómetro e recolha de amostras para caracterização laboratorial, com vista à obtenção dos parâmetros necessários ao zonamento geotécnico do maciço rochoso. Neste contexto, foram aplicadas algumas classificações geomecânicas para taludes rochosos, a partir das quais teceram-se algumas considerações relativas à resistência mecânica do maciço rochoso. Procedeu-se também à sua descrição geotécnica com recurso à BGD.

Estudaram-se também as condições de estabilidade das arribas para os mecanismos de rotura planar, por cunha e por tombamento, mediante utilização de técnicas de análise cinemática, tendo sido efectuadas análises qualitativas e quantitativas dos mesmos. Foi igualmente avaliada a ocorrência de rotura de blocos em consola. Por fim, e com base em todos os elementos recolhidos, estabeleceu-se um zonamento geotécnico da frente das arribas da praia da Zambujeira do Mar, tecendo-se considerações sobre a validade dos resultados, reavaliando-se o risco associado e sua comparação com as conclusões da avaliação preliminar obtidas anteriormente. Por último, no contexto da implementação de uma correcta estratégia de gestão do risco, sugeriram-se algumas recomendações para a sua mitigação/eliminação através da implementação de medidas de remediação estruturais e não estruturais.

Palavras-chave: avaliação do risco, arribas rochosas, estabilidade de taludes, zonamento geotécnico.

ABSTRACT

With this work it is intended to evaluate the risk associated with the occurrence of landslides along the cliffs modeling the Alentejo coastline between Sines and Zambujeira do Mar.

In order to do so, a review of the available literature was performed on some of the sites that had already been identified as risk areas by a government organism, *the Administração da Região Hidrográfica-Alentejo (ARH Alentejo*, presently incorporated in *Agência Portuguesa do Ambiente*). Following this review, a first phase of field observations were made in order to evaluate the geological and geotechnical characteristics of the cliff rock mass and the existence of instability mechanisms, as well the associated risk in terms of vulnerability. As result of this first phase, a preliminary risk assessment was established, resulting in inventory files for each of the selected sites and a preliminary risk assessment.

According to the obtained results, a detailed study on the stability of the cliffs in Zambujeira do Mar beach, where the most hazardous and highest risk situations do occur. The scanline sampling technique was used to catalogue the geometric and mechanic properties of the rock mass discontinuities while conducting field tests with a type L Schmidt hammer, as well as the gathering of samples for laboratory analysis, in order to obtain the necessary parameters for the engineering geological zonation of the rock mass. To do so, geomechanical classifications for rock masses were applied, namely the Rock Quality Designation Index and the Geological Strength Index, the last one providing some considerations regarding the mechanical characteristics of the rock mass as well. A preliminary description was also made according to the Basic Geotechnical Description. The stability conditions for planar, wedge and toppling mechanisms were then studied through kinematic analysis techniques, both qualitative and quantitatively, while the possibility for rockfall occurrences was also verified.

Finally, and based on all the previously withdrawn data, an engineering geological zonation of the Zambujeira do Mar site was established, and considerations are made on the validity of the results, based on their comparison to the preliminary risk evaluation previously obtained. Furthermore, so as to provide a complete risk management strategy, some recommendations are suggested in order to mitigate the existing risk.

Keywords: Risk assessment, rocky cliffs, slope stability, engineering geological zonation

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE GERAL	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XXV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA.....	1
1.2. OBJECTIVOS	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
2. PROBLEMÁTICA DA ESTABILIDADE DE ARRIBAS	7
2.1. EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE ARRIBAS	7
2.2. TIPOS DE MOVIMENTOS DE TERRENOS	9
2.2.1. Classificação geral	9
2.2.2. Queda de blocos (<i>rockfall</i>)	10
2.2.3. Tombamento (<i>toppling</i>)	11
2.2.4. Escorregamento (<i>slide</i>)	13
2.2.4.1. Escorregamento rotacional (<i>slump</i>).....	13
2.2.4.2. Escorregamento translacional (<i>planar slide</i>)	14
2.3. AGENTES E CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE TERRENO	15
2.4. ABORDAGENS E CONCEITOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO EM TALUDES NATURAIS.....	17
3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS	21
3.1. DESCRIÇÃO GEOMECÂNICA DE DESCONTINUIDADES	21
3.2. AVALIAÇÃO DO VOLUME DOS BLOCOS	29
3.3. CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS DE MACIÇOS ROCHOSOS	30
3.3.1. <i>Basic Geotechnical Description of Rock Masses (BGD)</i>	31

3.3.2.	<i>Rock Quality Designation Index (RQD)</i>	32
3.3.3.	<i>Geological Strength Index (GSI)</i>	33
3.4.	ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES ROCHOSOS	35
3.4.1.	Teste de <i>Markland</i>	38
3.4.2.	Avaliação da rotura por tombamento	38
4.	ENQUADRAMENTO DA ZONA DE ESTUDO: TRECHO SINES – ZAMBUJEIRA DO MAR	41
4.1.	ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	41
4.2.	ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO	42
4.3.	ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	44
4.3.1.	Maciço Ibérico (MI)	44
4.3.2.	Zona Sul Portuguesa (ZSP)	45
4.3.3.	Grupo do <i>Flysch</i> do Baixo Alentejo (GFBA)	46
4.3.3.1.	Formação de Mira (H_{Mi})	46
4.3.3.2.	Formação da Brejeira (H_{br})	47
4.3.4.	Subsector Cercal-Mira	47
4.3.5.	Terrenos pós-paleozóicos	48
4.4.	TECTÓNICA	50
4.5.	SISMICIDADE	51
4.6.	CLIMA	52
4.7.	HIDROLOGIA	53
4.8.	HIDROGEOLOGIA	54
5.	METODOLOGIA DE ESTUDO NO TRECHO SINES – ZAMBUJEIRA DO MAR	55
5.1.	1ª FASE: AVALIAÇÃO PRELIMINAR	55
5.1.1.	Recolha de informação bibliográfica e no campo	55
5.1.2.	Avaliação da perigosidade aparente	56
5.1.3.	Avaliação preliminar do risco	57
5.2.	2ª FASE: ZONAMENTO GEOTÉCNICO E AVALIAÇÃO DE RISCO	60

5.2.1.	Caracterização geológico-geotécnica.....	60
5.2.1.1.	Investigações <i>in situ</i>	60
5.2.1.2.	Caracterização laboratorial	62
5.2.1.3.	Classificações geomecânicas	62
5.2.2.	Análise de estabilidade.....	62
6.	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA PERIGOSIDADE APARENTE, VULNERABILIDADE E RISCO.....	67
7.	ZONAMENTO GEOTÉCNICO E AVALIAÇÃO DE RISCO NA PRAIA DA ZAMBUJEIRA DO MAR.....	83
7.1.	AVALIAÇÃO DA PROBLEMÁTICA.....	83
7.1.1.	Local 2 – Praia da Zambujeira do Mar (sul)	85
7.1.2.	Local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este).....	87
7.1.3.	Local 4 – Praia da Zambujeira do Mar (norte).....	90
7.2.	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA.....	93
7.2.1.	Famílias de fracturas	93
7.2.2.	Estado de meteorização do material rocha	98
7.2.3.	Avaliação das características das discontinuidades	98
7.2.4.	Ensaio <i>in situ</i> : dureza ao resalto com martelo de <i>Schmidt</i>	104
7.2.5.	Amostragem	107
7.2.6.	Peso volúmico aparente (γ_a)	107
7.2.7.	Determinação de ϕ_b em mesa basculante (<i>tilt test</i>)	108
7.2.8.	Resistência à rotura em compressão uniaxial.....	109
7.2.9.	Aplicação do índice RQD e cálculo do volume dos blocos	112
7.2.10.	Aplicação do índice GSI	114
7.2.11.	Avaliação das características mecânicas do maciço rochoso	116
7.2.12.	Descrição do maciço rochoso pela BGD	120

7.3.	ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES	122
7.3.1.	Análise cinemática.....	122
7.3.2.	Influência da variabilidade geométrica das arribas (locais 3 e 4).....	126
7.3.3.	Verificação de ϕ no local 2.....	129
7.3.4.	Análise de rotura por corte de blocos em consola	132
7.4.	ZONAMENTO GEOTÉCNICO E REAVALIAÇÃO DO RISCO PRELIMINAR.....	136
7.5.	RECOMENDAÇÕES RELATIVAS À MITIGAÇÃO DO RISCO	141
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
	ANEXOS.....	159
	ANEXO I – FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS INVENTARIADOS NA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO RISCO	
	ANEXO II – TABELAS UTILIZADAS NA ESTIMATIVA DA CONSTANTE m_i E FACTOR DE PERTURBAÇÃO (D)	
	ANEXO III – SINALÉTICA DE PERIGO UTILIZADA E RESPECTIVAS DIMENSÕES PARA EFEITOS DE ESCALA DE ALGUNS REGISTOS FOTOGRÁFICOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Leixão do extremo nascente da praia Maria Luísa após a derrocada de 2009	2
Figura 2.1 – Evolução de arribas	7
Figura 2.2– Evolução do perfil de uma arriba litoral homogénea ou heterogénea	8
Figura 2.3 – Rotura de blocos em consola.....	10
Figura 2.4– Situações de equilíbrio de um bloco unitário	12
Figura 2.5– Mecanismos de rotura por tombamento.....	12
Figura 2.6– Tipos de escorregamento	13
Figura 2.7– Esquema de um processo de instabilização de um talude	15
Figura 2.8 – Modelo conceptual de risco natural adaptado de Zêzere	19
Figura 3.1– Diagrama das principais propriedades das descontinuidades	22
Figura 3.2– Avaliação da atitude de uma descontinuidade. α_p – direcção do plano de rotura; ψ – inclinação do plano de rotura	22
Figura 3.3– Medição do espaçamento de diferentes famílias a partir de uma face exposta do maciço	23
Figura 3.4– Traços de descontinuidades expostos e ocultos	24
Figura 3.5 – Abertura de uma descontinuidade	26
Figura 3.6 – Ábaco geral para estimativa do GSI.....	34
Figura 3.7 – Estimativa do GSI para maciços rochosos fortemente heterogéneos, tipo <i>Flysch</i>)	35
Figura 3.8 – Rotura circular e correspondente representação estereográfica.	36
Figura 3.9 – Rotura planar e correspondente representação estereográfica	36
Figura 3.10 – Rotura em cunha e correspondente representação estereográfica	37
Figura 3.11 – Rotura por tombamento e correspondente representação estereográfica.....	37
Figura 4.1 – Localização geográfica e delimitação da faixa costeira avaliada neste estudo	41

Figura 4.2 – Terrenos e Zonas do Maciço Ibérico	44
Figura 4.3 – Mapa geológico da Zona Sul Portuguesa.....	45
Figura 4.4 – Formação de Mira.....	46
Figura 4.5 – Formação da Brejeira.....	47
Figura 4.6 – Subsector Cercal-Mira	48
Figura 4.7 – Arriba de 8 m de altura talhada em diferentes litologias	49
Figura 4.8 – Arriba talhada em depósitos plio-plistocénicos na praia da do Forte do Pessegueiro	49
Figura 4.9 – Comportamento frágil e dúctil das litologias face à deformação	50
Figura 4.10 – À esquerda: Carta de intensidades macrossísmicas máximas em Portugal continental. À direita: Sismicidade instrumental (1988-1997) e epicentro dos sismos mais importantes.....	51
Figura 4.11 – Embocadura do rio Mira e sistemas dunares associados	53
Figura 5.1 – Esquema de trabalhos da primeira fase.....	58
Figura 5.2 – Equipamento utilizado na amostragem linear	61
Figura 5.3 – Obtenção de JRC e JCS	65
Figura 5.4 – Esquema de trabalhos da segunda fase	66
Figura 6.1 – Localização dos trechos seleccionados para a avaliação preliminar de risco	67
Figura 6.2 – Sinalização na base das arribas e delimitação de uma área perto do limite nascente da praia da Zambujeira do Mar	70
Figura 6.3 – Zona central da praia do Almogrove, onde se observa o destaque de alguns blocos de grande dimensão pela fracturação sub-vertical	72
Figura 6.4 – Erosão diferencial na arriba sul do local 6 – sul da Foz dos Ouriços e presença de fendas de tracção subverticais preenchidas por filonetes de quartzo nos níveis grauvacóides mais frágeis.	72
Figura 6.5 – Material instabilizado na base de uma arriba na praia das Furnas localmente muito meteorizada em virtude da exsurgência local de águas de percolação	73

Figura 6.6 – Blocos em condição potencialmente instável afectados por fracturas subverticais na praia das Furnas	73
Figura 6.7 – Bloco de arenito carbonatado com reduzida sustentação basal afectado por uma fenda de tracção sub-vertical.....	75
Figura 6.8 – Blocos de arenito já instabilizados dispostos na face e base da arriba sul da praia do Forte do Pessegueiro.....	75
Figura 6.9 – Erosão diferencial na arriba sul da praia do Forte do Pessegueiro, com formação de uma consola extensa com importante balanço	76
Figura 6.10 – Local de exurgência na arriba sul na praia do Forte do Pessegueiro	76
Figura 6.11 – Arriba norte da praia do Banho, observando-se algumas cavidades (a vermelho) na base das arribas correspondentes, assim como os relevos a locais preferenciais de queda de blocos.....	78
Figura 6.12 – Bloco apoiado perto da arriba norte da praia dos Buizinhos	79
Figura 6.13 – Escorregamento planar com grande volume de material instabilizado na arriba sul da praia do Cerro da Águia.....	79
Figura 6.14 – Potencial situação de tombamento de alguns blocos destacados por fendas de tracção na crista de uma arriba a sul da praia do Cerro da Águia	80
Figura 6.15 – Arriba na zona central da praia da Samoqueira.....	80
Figura 6.16 – Blocos de significativo volume destacados pela fracturação sobre as escadas de acesso à praia da Samoqueira.....	81
Figura 6.17 – Perímetro de segurança adoptado pela ARH-Alentejo para a praia da Samoqueira	81
Figura 7.1– Aspecto aéreo dos locais, 2, 3 e 4 na praia da Zambujeira do Mar	84
Figura 7.2 – Perfil esquemático das arribas estudadas na praia da Zambujeira do Mar	85
Figura 7.3 – À esquerda: material instabilizado na base do talude. À direita: fractura sub-vertical muito persistente com enchimento de quartzo	86
Figura 7.4 – Cicatriz deixada por um ou mais escorregamentos planares, onde também se aplicou a técnica de amostragem linear de superfícies de descontinuidade	86

Figura 7.5 – Limite sul da praia	87
Figura 7.6 – Blocos destacados numa zona bastante fracturada da arriba	87
Figura 7.7 – Evolução da situação do bloco instável na arriba em Abril de 2013 (à esquerda) e Maio de 2013 (à direita)	88
Figura 7.8 – Acumulação de material instabilizado (a vermelho) e camadas em consola, postas em destaque pela erosão diferencial, mais comuns para o topo da arriba.....	89
Figura 7.9 – Situações de risco anteriormente identificadas	89
Figura 7.10 – Vista geral da arriba e das estruturas descritas.....	90
Figura 7.11 – Vista de pormenor da falha normal, individualizando-se o tecto (a preto) e o muro (a azul) da mesma bancada grauvacóide de um e de outro lado desta estrutura.....	91
Figura 7.12 – Situações de instabilidade na arriba.....	92
Figura 7.13 – Análise estatística das descontinuidades e projecção da frente da arriba (T2) no local 2 com recurso a rede estereográfica.....	93
Figura 7.14 – Análise estatística das descontinuidades e projecção da frente da arriba (T3) no local 3 com recurso a rede estereográfica.....	94
Figura 7.15 – Análise estatística das descontinuidades e projecção da frente da arriba (T4) no local 4 com recurso a rede estereográfica.....	94
Figura 7.16 – Análise estatística da totalidade das descontinuidades medidas nos locais 2, 3 e 4.....	95
Figura 7.17 – Diagramas de roseta referentes aos três locais estudados.....	96
Figura 7.18 – Características geométricas dos blocos destacados	97
Figura 7.19 – Blocometria planar nas camadas de fácies predominantemente xistenta (local 4).....	98
Figura 7.20– Exemplo e sequência de ensaio de acordo com o procedimento descrito por Stimpson (1981).	108
Figura 7.21 – Disposição de ensaio com colocação do provete (A4) na prensa hidráulica. ..	110
Figura 7.22 – Planos de anisotropia em provetes submetidos a ensaio.....	112

Figura 7.23 – Variação nos valores de RQD consoante a direcção de inventariação num mesmo maciço rochoso.....	113
Figura 7.24 – Bloco grauvacóide de volume estimado 0,22 m ³ na base do local 3.....	113
Figura 7.25 – Aspecto do maciço rochoso no local 2 e comparação com a estrutura da classe A, definida por Marinos & Hoek, (2001)	115
Figura 7.26 – Aspecto do maciço rochoso no local 4 e comparação com a estrutura da classe E, definida por Marinos & Hoek, (2001).....	115
Figura 7.27 – Representação gráfica da aplicação do critério de Hoek-Brown (a vermelho) e aproximação de Mohr-Coulomb (a azul) referentes ao maciço rochoso do local 4.....	119
Figura 7.28 – Esboço e delimitação das zonas definidas por aplicação da BGD no local 4 .	122
Figura 7.29 – Esboço e delimitação das zonas definidas por aplicação da BGD no local 3 .	122
Figura 7.30 – Esboço e delimitação das zonas definidas por aplicação da BGD no local 2 .	122
Figura 7.31 – Análise das condições de rotura para a arriba no local 2	124
Figura 7.32 – Análise das condições de rotura para a arriba no local 3	124
Figura 7.33 – Análise das condições de rotura para a arriba no local 4.	125
Figura 7.34 – Relação entre o ângulo de inclinação da arriba local 3 e os índices de rotura .	127
Figura 7.35 – Relação entre a direcção da arriba no local 3 e os índices de rotura	127
Figura 7.36 – Relação entre o ângulo de inclinação da arriba no local 4 e os índices de rotura.....	128
Figura 7.37 – Relação entre a direcção da arriba no local 4 e os índices de rotura	128
Figura 7.38 – Dimensões e diagrama de forças do bloco estudado	131
Figura 7.39 – Verificação da influência da variação de ϕ no cálculo dos índices de rotura ..	131
Figura 7.40 – Bloco em consola no local 3 em risco de rotura por corte com a superfície de rotura.....	135
Figura 7.41 – Bloco na base do local 3 em risco de rotura por corte.....	136
Figura 7.42 – Zonamento geotécnico (local 4).	138
Figura 7.43 – Zonamento geotécnico (local 3)	138

Figura 7.44 – Zonamento geotécnico (local 2)	138
Figura 7.45 – Exemplo de blocos a sanear no local 3 (ZG3)	143

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação simplificada de Varnes	9
Tabela 3.1 – Classes de espaçamento)	23
Tabela 3.2 – Classes de persistência	24
Tabela 3.3 – Classificação de rugosidade a várias escalas	26
Tabela 3.4– Classes de abertura.....	27
Tabela 3.5– Descrição da percolação nas discontinuidades segundo Bieniawski (1989)	28
Tabela 3.6–Grau de meteorização das paredes das discontinuidades	28
Tabela 3.7 – Classificação do tamanho do bloco unitário	30
Tabela 3.8 – Estimativa de β	30
Tabela 3.9 – Classificação da resistência à compressão uniaxial proposta pela BGD.....	31
Tabela 3.10 – Classificação do ângulo de atrito proposta pela BGD.....	32
Tabela 3.11 – Classificação da espessura das camadas proposta pela BGD	32
Tabela 3.12 - Grau de meteorização do material rochoso	32
Tabela 3.13 – Classificação de maciços rochosos com base no RQD	33
Tabela 3.14 – Condições geométricas e mecânicas para os diferentes tipos de roturas.....	39
Tabela 5.1 – Matriz de cálculo dos valores de perigosidade aparente (P.A).....	56
Tabela 5.2 – Matriz de cálculo dos valores de vulnerabilidade	57
Tabela 5.3 – Matriz de cálculo dos valores de risco no intervalo [0;1] – Índice de Risco	59
Tabela 5.4 – Valores médios de γ_a de xistos e grauvaques das formações do GFBA, em função do estado de meteorização	61
Tabela 5.5 – Ângulo de atrito nas paredes das discontinuidades	64
Tabela 6.1 – Cálculo dos valores de perigosidade aparente, vulnerabilidade e risco para os locais inventariados	68
Tabela 7.1 – Dados relativos às arribas estudadas na praia da Zambujeira do Mar	83

Tabela 7.2 – Orientação média das arribas estudadas e principais famílias de descontinuidades por local	95
Tabela 7.3 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº1 realizada no local 2 – Praia da Zambujeira do Mar (sul)	99
Tabela 7.4 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº2 realizada no local 2 – Praia da Zambujeira do Mar (sul)	100
Tabela 7.5 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº3 realizada no local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este)	100
Tabela 7.6 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº 4 realizada no local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este)	101
Tabela 7.7 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº 5 realizada no local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este)	101
Tabela 7.8 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº 6 realizada no local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este).	101
Tabela 7.9 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº 7 realizada no local 4 – Praia da Zambujeira do Mar (norte).....	102
Tabela 7.10 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº 8 realizada no local 4 – Praia da Zambujeira do Mar (norte).....	102
Tabela 7.11 – Resumo dos dados obtidos na <i>scanline</i> nº 9 realizada no local 4 – Praia da Zambujeira do Mar (norte).....	103
Tabela 7.12 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza ao resalto com recurso ao martelo de <i>Schmidt</i> nas arribas da praia da Zambujeira do Mar	106
Tabela 7.13 – Avaliação de γ_a com recurso à técnica do provete regular	108
Tabela 7.14 – Valores de ϕ_b obtidos pelo ensaio de <i>tilt test</i>	109
Tabela 7.15 – Resultados obtidos em ensaios de deslizamento de diaclases efectuados em grauvaques	109
Tabela 7.16 – Resultados obtidos pelos ensaios laboratoriais de resistência à rotura por compressão uniaxial	111

Tabela 7.17 – Cálculo do índice RQD e quantificação do tamanho médio dos blocos (V_b) na direcção paralela à face das arribas	113
Tabela 7.18 – Avaliação do índice GSI para as arribas nos locais 2 e 3 e 4	116
Tabela 7.19 – Estimativa da RCU em rocha intacta com recurso a técnicas expeditas de campo.....	117
Tabela 7.20 – Resultados obtidos pela avaliação realizada como <i>software RocLab</i> ®, aplicada a taludes.	119
Tabela 7.21 – Parâmetros do maciço rochoso nos locais 2, 3 e 4 da praia da Zambujeira do Mar	119
Tabela 7.22 – Aplicação da BGD ao maciço rochoso na praia da Zambujeira do Mar.....	121
Tabela 7.23 – Técnicas e resultados utilizados na quantificação dos parâmetros da BGD....	121
Tabela 7.24 – Ângulo de atrito entre descontinuidades utilizado nas análises de estabilidade	123
Tabela 7.25 – Resumo das análises de estabilidade realizadas nas arribas estudadas	125
Tabela 7.26 – Resultados obtidos mediante aplicação dos critérios de Patton e Barton & Choubey na situação descrita anteriormente.....	130
Tabela 7.27 – Estimativa de cálculo para a estabilidade de um bloco de xisto sujeito a movimento de rotura por corte para vários cenários	133
Tabela 7.28 – Estimativa de cálculo para a estabilidade de um bloco de grauvaque sujeito a movimento de rotura por corte para vários cenários	134
Tabela 7.29 – Reavaliação do risco para as arribas estudadas na praia da Zambujeira do Mar e comparação com os valores obtidos nos trabalhos preliminares	140
Tabela 7.30 – Plano de mitigação proposto para a problemática da praia da Zambujeira do Mar	142
Tabela 7.31 – Características dos varões GEWI®	144

ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABREVIATURAS E SIGLAS

ARH	Administração da Região Hidrográfica;
ANPC	Autoridade Nacional de Protecção Civil;
BGD	<i>Basic Geotechnical Description;</i>
CEHIDRO	Centro de Estudos de Hidrossistemas;
DRAA	Direcção Regional do Ambiente do Alentejo;
<i>et al.</i>	<i>et alia</i> (e outros);
FR	Força Resistente;
GFBA	Grupo do <i>Flysch</i> do Baixo Alentejo
GSI	<i>Geological Strength Index;</i>
ICN	Instituto de Conservação da Natureza;
ICNB	Instituto de Conservação da Natureza e da Biodiversidade;
IR	Índice de Risco;
I.P.	Instituto Português;
IRC	Índice de Rotura por Cunha;
IRP	Índice de Rotura Planar;
IRT	Índice de Rotura por Tombamento;
ISRM	<i>International Society of Rock Mechanics;</i>
JCS	<i>Joint Compressive Strength;</i>
JRC	<i>Joint Roughness Coefficient;</i>
MI	Maciço Ibérico;
POOC	Plano de Ordenamento da Orla Costeira
RCU	Resistência à compressão uniaxial;
RQD	<i>Rock Quality Designation;</i>

RMR	<i>Rock Mass Rating;</i>
SMR	<i>Slope Mass Rating;</i>
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos;
TI	Terreno Ibérico;
USGS	<i>United States Geological Survey;</i>
ZOM	Zona Ossa-Morena;
ZSP	Zona Sul Portuguesa;

SIMBOLOS

Alfabeto Latino:

A	Área;
A_c	Área de aplicação da força F_c ;
b	Dimensão menor do bloco;
c	Coesão;
c_a	Coesão aparente;
D	Factor de perturbação;
D_p	Diâmetro do provete;
D_s	Distância à origem da fita na inventariação de descontinuidades com <i>scanline</i> ;
E	Módulo de <i>Young</i> ;
E_r	Elementos em risco;
F_c	Força de rotura no ensaio de resistência à compressão uniaxial;
H	Altura da arriba;
H_{br}	Formação da Brejeira;
H_{mi}	Formação de Mira;
h	Dimensão maior do bloco;
i	Inclinação da rugosidade relativamente ao corte (ângulo de aspereza);

J_v	<i>Volumetric Joint Count</i> ;
L	Comprimento do provete;
L_s	Semi-persistência de uma descontinuidade;
M	Erosão marinha;
m_i	Constante associada às características friccionais dos elementos rochosos;
P	Perigosidade;
p	Persistência de uma descontinuidade;
R_L	Dureza ao resalto;
S	Espaçamento entre descontinuidades adjacentes (total);
S_a	Erosão subaérea;
V	Vulnerabilidade;
V_b	Volume do bloco;
W	Grau de meteorização;
w	Peso do bloco;

Alfabeto Grego:

α_i	Direcção da linha de intersecção de duas superfícies de rotura ou deslizamento;
α_p	Direcção do plano de rotura/deslizamento;
α_t	Direcção do talude;
β	Parâmetro de forma do bloco;
ϕ	Ângulo de atrito entre superfícies de descontinuidade;
ϕ_b	Ângulo de atrito básico;
ϕ_r	Ângulo de atrito residual;
γ_a	Peso volúmico aparente;
λ	Frequência de fracturação;
σ_c	Resistência à rotura por compressão uniaxial;

σ_{ci}	Resistência à rotura por compressão uniaxial da rocha intacta;
$\sigma_{ci\ G}$	Resistência à rotura por compressão uniaxial do grauvaque;
$\sigma_{ci\ X}$	Resistência à rotura por compressão uniaxial dos xistos argilosos;
σ'_{cm}	Resistência global do maciço rochoso;
σ_n	Tensão normal;
σ_t	Resistência à tracção;
τ	Tensão de corte;
ν	Coefficiente de <i>Poisson</i>
ψ	Inclinação do plano sobre o qual se dá o movimento (deslizamento/rotura);
ψ_i	Inclinação da linha de intersecção entre duas superfícies de rotura;
ψ_t	Inclinação do talude;

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

O tema abordado no presente trabalho surge na sequência de uma preocupação por parte de uma instituição pública (Administração da Região Hidrográfica-Alentejo, ARH-Alentejo I.P., actualmente integrada na Agência Portuguesa do Ambiente) relativamente ao risco associado à instabilidade de arribas no troço litoral compreendido entre Sines e a Zambujeira do Mar, actualmente sob sua jurisdição.

Este trecho costeiro foi objecto de análise no estudo “Estabilidade e trabalhos de estabilização de arribas de praia na região de Sesimbra e do litoral Alentejano” de Julho de 2010, desenvolvido pela empresa Egiamb, tendo sido identificadas algumas situações de instabilidade nas arribas de várias praias, com destaque para o caso da Zambujeira do Mar onde foi efectuado, para além de acções de intervenção preventiva, um pequeno desmonte controlado como forma de mitigação do risco associado à problemática da queda de blocos. O mesmo estudo destaca a “...*clara necessidade de realizar estudos de estabilidade geotécnica e de análise de risco de forma a avaliar correctamente o perigo de instabilidade das arribas e as consequências de eventuais episódios de desestabilização*”. Torna-se, assim, evidente a necessidade de trabalhos complementares para esclarecer os mecanismos de instabilização ocorrentes naquelas arribas e o risco que representam.

A incorporação frequente de estudos de estabilidade sobre as zonas costeiras de Portugal nas políticas de ordenamento do território e urbanismo é relativamente recente, tendo-se generalizado a partir da década de 90. Esta mudança de mentalidade reflecte a crescente tomada de consciência relativamente ao risco que os movimentos de terrenos em arribas constituem para pessoas e bens, motivados pela crescente taxa de ocupação da costa ocidental portuguesa.

Segundo Teixeira (2006, 2009), a evolução de litorais de arriba rochosa é normalmente efectuada através de movimentos pontuais mas repentinos de grandes volumes de material rochoso, geralmente durante ou após períodos de intensa agitação marítima, intensa/prolongada pluviosidade (mais frequente nos meses de Inverno), sismos ou outras vibrações e sobrecargas sobre a arriba decorrentes de actividade antrópica. Davis Jr. & Fitzgerald (2004) referem ainda a importância dos processos erosivos, nomeadamente a erosão subaérea e marinha, crioclastia, bioerosão e fenómenos de alteração química que favorecem a desagregação química e mecânica do maciço rochoso, criando condições para a eventual ocorrência de instabilizações mediante a progressiva diminuição da resistência ao corte dos materiais. Durante os meses mais quentes e secos pode igualmente verificar-se a ocorrência de movimentações súbitas nas arribas devido ao processo de secagem dos materiais, com redução das pressões negativas e abertura de fendas de ressecção, promovendo assim a deterioração das ligações entre partículas.

A ocorrência de movimentos de terreno em arribas rochosas é antecedida por poucos ou nenhuns sinais de aviso, sendo por isso de muito difícil previsão. Acresce que este tipo de movimento é caracterizado por velocidades de deslocamento da ordem dos segundos. Uma vez que após o início de um movimento é virtualmente impossível a sua contenção, é essencial a compreensão dos mecanismos de rotura, de forma a identificar com rigor os sinais de potencial fraqueza nas arribas e minimizar o risco associado.

O acidente na praia do Canavial (Lagos), em Junho de 1997 exemplifica o potencial catastrófico de um movimento de terrenos em praias frequentadas. Uma rotura numa arriba de 40 m originou um movimento de massa de materiais meteorizados que mobilizou um volume de cerca de 30 000 m³ que atingiu um restaurante localizado no seu pé, tendo-o destruído completamente. A ausência de mortos e feridos deve-se aos sinais de pré-coloapso, neste caso manifestados por queda de pequenos blocos, alertando as pessoas que aí se encontravam que conseguiram colocar-se em segurança imediatamente antes da ocorrência (Teixeira, 2006, 2009). Noutras situações as consequências destes incidentes podem ser drásticas, como se verificou em ocasiões mais recentes, nomeadamente em Agosto de 2009 quando a rotura de um trecho de arriba na praia Maria Luísa em Albufeira vitimou cinco pessoas que se encontravam na base da arriba, provocando ainda ferimentos noutras duas (Teixeira, 2009).



Figura 1.1 – Leixão do extremo nascente da praia Maria Luísa após a derrocada de 2009 (Teixeira, 2009)

Em Portugal a regulamentação relativa a qualquer utilização ou ocupação de áreas costeiras dominadas por arribas é instituída pelos POOC (Plano de Ordenamento da Orla Costeira) onde, de forma a minimizar os riscos associados à ocorrência de movimentos de terrenos em arribas se definem geralmente três zonas, como refere Marques, (2009):

- Zona de perigo adjacente ao pé da arriba;
- Zona de perigo adjacente à crista da arriba;
- Zona de protecção suplementar;

A primeira zona é uma área de terra de largura fixa ou igual à altura da arriba, que se prolonga do pé da arriba na direcção do mar, e delimita o deslocamento máximo que o material instabilizado pode adquirir (imobilização) após se dar a rotura. Nesta faixa não é permitida a construção de quaisquer infra-estruturas, sendo comum a implantação de sinalização de perigo de instabilidade, especialmente na presença de arribas cujo enquadramento geológico-estrutural é propício à ocorrência de quedas de blocos e tombamentos.

A segunda zona é uma faixa de terra de largura fixa ou igual à altura da arriba, que se prolonga da crista da arriba para o interior. A delimitação desta zona baseia-se na distância máxima até onde se verificam perturbações, derivadas da ocorrência de roturas, que possam, de alguma forma, diminuir os parâmetros resistentes da arriba e potenciar novos episódios de instabilidade. Nesta faixa não é permitida a construção de novas infra-estruturas sendo que construções já implementadas podem apenas ser reparadas ou, se se considerar conveniente, aumentadas para o interior.

A terceira zona corresponde a uma área de terra de largura fixa ou igual à altura da arriba que se prolonga do limite da zona de perigo na crista da arriba na direcção do continente. Tem como objectivo evitar a implementação de sobrecargas que induzam aumento das tensões intersticiais que poderão reduzir o coeficiente de segurança da arriba. Da mesma forma, no caso de ocorrência de grandes instabilizações que possam provocar a rotura da zona de perigo principal, garante-se assim alguma distância entre a nova crista e as infra-estruturas mais próximas. Nesta zona está igualmente interdita a implantação de novas infra-estruturas fixas sendo que construções já implementadas podem apenas ser reparadas ou, se se considerar conveniente, aumentadas para o interior. Ao contrário dos casos anteriores é, no entanto, permitida a implantação de estruturas temporárias.

Cerca de 70% da população nacional vive na faixa litoral, que representa apenas cerca de 25% do território nacional (Filipe *et al.*, 1998). O crescimento exponencial verificado nas últimas décadas e consequente aumento da pressão demográfica sobre essa faixa promove uma tendência para a ocupação das zonas de perigo definidas pelos respectivos POOC, pelo que o risco inerente à ocorrência de instabilizações em arribas sofre um natural agravamento.

1.2. OBJECTIVOS

Esta dissertação, para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica (Geotecnia), pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa pretende contribuir para a implementação de uma estratégia de gestão do risco (*risk management*) associada à problemática da ocorrência de fenómenos de instabilização das arribas do troço litoral entre Sines e a Zambujeira do Mar com base no estabelecimento de uma abordagem integrada de avaliação do risco apoiada na caracterização da perigosidade e vulnerabilidade associadas ao mesmo.

Neste contexto é feito um estudo pormenorizado do comportamento mecânico e das condições de estabilidade das arribas onde se verificam as situações mais desfavoráveis, particularmente na praia da

Zambujeira do Mar, com o objectivo de implementar um zonamento geotécnico do risco que possa contribuir para a mitigação ou, em alguns casos, para a eliminação do risco associado à fenomenologia em análise. Com a investigação geológico-geotécnica realizada pretende-se ainda providenciar uma base geotécnica sólida para a implementação de projectos de estabilização que garantam, à partida, a melhor solução técnica para os problemas encontrados.

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou a elaboração de um artigo científico aceite para apresentação no XIV Congresso Nacional de Geotecnia na Covilhã, no próximo ano.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é dividida em 8 capítulos da seguinte forma:

No capítulo 1 é feita uma breve introdução à temática abordada na presente dissertação, incluindo um enquadramento geral do problema dos movimentos de terrenos em arribas e apresentação dos objectivos a que o autor se propõe.

No capítulo 2, de cariz essencialmente bibliográfico, aborda-se sucintamente o enquadramento geomorfológico associado à evolução de arribas rochosas litorais, incluindo uma descrição dos mecanismos de movimentos de terreno comumente associados a este tipo de taludes, assim como os seus principais agentes e causas. Por último são introduzidas algumas metodologias de abordagem à avaliação do risco em taludes naturais, bem como os correspondentes conceitos e princípios fundamentais.

No capítulo 3 descrevem-se detalhadamente alguns conceitos básicos e as metodologias utilizadas na caracterização geológico-geotécnica de maciços rochosos. Apresentam-se todas as características das descontinuidades, respectiva influência no comportamento do maciço rochoso e modo de obtenção pela técnica do levantamento linear de superfícies de descontinuidade, assim como os princípios fundamentais e modo de aplicação das classificações geomecânicas RQD, GSI e BGD. São igualmente expostos os principais tipos de rotura associados a taludes rochosos, assim como os princípios teóricos fundamentais da avaliação da sua estabilidade pela técnica geométrica da análise cinemática.

No capítulo 4 é feito um enquadramento geral da área de estudo em termos de geomorfologia, geologia, tectónica, sismicidade, clima, hidrogeologia, hidrologia e ocupação antrópica com base em referências bibliográficas actualizadas.

No capítulo 5 descreve-se, pormenorizadamente, a metodologia de trabalho adoptada.

No capítulo 6 realiza-se a avaliação do risco de estabilidade de arribas no troço Sines–Zambujeira do Mar conforme a metodologia descrita no capítulo anterior, que inclui a consulta de documentos técnicos e levantamento de campo. Para cada ponto de inventariação seleccionado é feita uma

caracterização preliminar do risco baseada na semi-quantificação dos parâmetros de perigosidade e vulnerabilidade com base nos dados recolhidos e tratados em fichas de caracterização apresentadas no Anexo I.

No capítulo 7 faz-se a caracterização geológica-geotécnica do maciço rochoso que modela as arribas da praia da Zambujeira do Mar com base nos trabalhos de campo que incluíram a realização de *scanlines* por aplicação do levantamento linear de superfícies de descontinuidade, ensaios *in situ* (martelo de *Schmidt*) e de laboratório (*tilt test*, peso volúmico aparente e resistência à compressão uniaxial). Posteriormente são aplicados os índices RQD e GSI, sendo igualmente realizada uma avaliação dos parâmetros mecânicos do maciço rochoso baseada nas relações empíricas que constam do critério de rotura de Hoek-Brown. Procede-se complementarmente à aplicação da BGD na frente das arribas avaliadas, estudando-se as condições de estabilidade das arribas, em termos qualitativos e quantitativos, para os mecanismos de rotura planar, por cunha e por tombamento, a partir de técnicas de análise cinemática. Paralelamente procede-se à avaliação da possibilidade de ocorrência de rotura de blocos em consola a partir de casos hipotéticos representativos das ocorrências observadas de alguns exemplos específicos. Com os dados obtidos é então idealizado um zonamento geotécnico da frente das arribas e, com base neste, tecem-se algumas considerações sobre eventuais medidas de mitigação a implementar em futuras empreitadas, de acordo com a estratégia de gestão do risco.

O capítulo 8 contempla as considerações finais do presente trabalho e recomendações para futuros desenvolvimentos no âmbito da temática estudada.

2. PROBLEMÁTICA DA ESTABILIDADE DE ARRIBAS

2.1. EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE ARRIBAS

A costa ocidental portuguesa concentra uma grande variedade de interesses, com destaque para a vertente urbana, energética, industrial e turística. Tendo em conta que, deste território, cerca de 60% correspondem a litoral de arriba e que 30% correspondem a material maioritariamente rochoso (Dinis & Tavares, 2005), é essencial compreender a evolução geomorfológica destes sistemas. Esta é, pois, uma tarefa que não raramente se revela complexa devido à interacção de processos marinhos, subaéreos e antropogénicos (Greenwood & Oxford, 2007 *in* Lim *et al.*, 2010 *in* Epifânio *et al.*, 2013). Esta situação reveste-se de crucial importância uma vez que o desenvolvimento de actividade antrópica, se não for adaptado às taxas de recuo locais, pode resultar na indução de riscos não desprezáveis tanto para as infra-estruturas costeiras existentes, como para pessoas e diferentes ecossistemas (Marques & Romariz, 1991; Catalão *et al.*, 2002).

Relativamente à análise geomorfológica de arribas, Marques (1997) sugere que se devem considerar estes elementos como taludes naturais alvo de intensa erosão basal que promove o aumento do declive. Neste contexto o mesmo autor justifica a maior ou menor variação deste pendor com o ângulo de atrito nos planos de descontinuidade e com a litologia das escarpas, cuja relação pressupõe uma predisposição natural à instabilização. Em ambientes litorais de elevada energia erosiva, principalmente motivada por intensa ondulação e correntes litorais é comum a ocorrência de subscavações que favorecem a formação de consolas com balanços progressivamente maiores. No limite, reúnem-se as condições para ocorrência de rotura e dá-se o movimento de terrenos, sendo que os detritos resultantes constituem protecção de sopé mais ou menos duradoura que impede por tempo limitado a continuação da erosão marinha. Posteriormente, a tendência é no sentido da degradação desta protecção pela ondulação e redistribuição dos detritos longitudinalmente ou transversalmente pelas correntes litorais. Esta sequência cíclica é, segundo o mesmo autor, o processo de evolução mais incidente mas não limitado a arribas rochosas litorais (Figura 2.1).

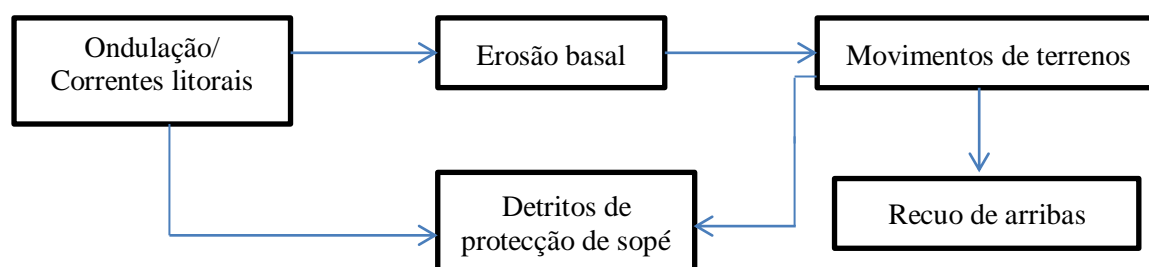


Figura 2.1 – Evolução de arribas (modificado de Marques, 1997)

Segundo Sunamura (1983 *in* Marques, 1997), a ocorrência de erosão no sopé das arribas é, em última análise, função da relação entre a força erosiva da ondulação e a resistência do maciço que constitui a

base das mesmas. Em rochas de muito baixa resistência, este último parâmetro é normalmente condicionado tanto pela litologia como pela estrutura ocorrente. Pelo contrário, quando o maciço é de boa qualidade as condições de estabilidade são maioritariamente baseadas nas propriedades físicas e mecânicas das descontinuidades, que constituem as suas principais superfícies de fraqueza estrutural.

Em circunstâncias particulares, nomeadamente em maciços rochosos de composição heterogénea, é comum a ocorrência de fenómenos de erosão diferencial que promovem a rápida degradação das litologias menos resistentes, destacando as camadas mais competentes, formando consolas por vezes com dezenas de metros de extensão e apreciável balanço. Os blocos destacados sofrem normalmente rotura por corte, tracção ou flexão e deslocam-se, por gravidade para a base da arriba onde, como já referido, constituem protecção temporária contra a erosão marinha. Neste processo evolutivo o avanço da erosão é naturalmente superior quanto maior for a importância relativa das camadas menos resistentes.

Apesar de menos relevante na erosão do sopé das arribas, os mecanismos de erosão subaérea têm influência na evolução do perfil geral das arribas na medida em que promovem a desintegração superficial dos terrenos. Este efeito é, segundo Marques (1997) mais notório em rochas mais brandas, especialmente na região sul de Portugal, onde a alternância de períodos secos e húmidos é mais evidente. Neste contexto alguns autores, de onde se destacam Emery & Kuhn, (1982 *in* Viles & Spencer, 1995) relacionaram a evolução do perfil das arribas com a intensidade relativa dos agentes erosivos marinhos e subaéreos (Figura 2.2).

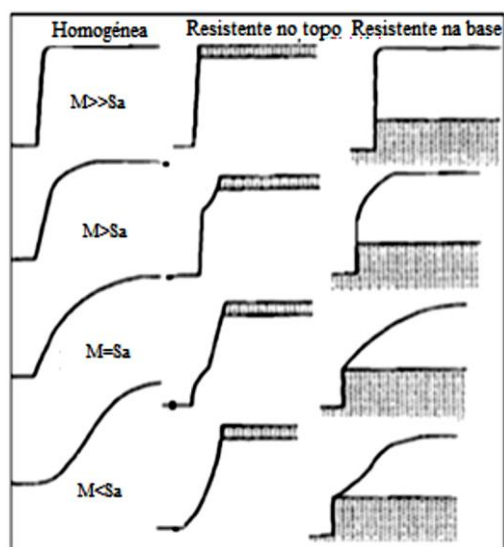


Figura 2.2– Evolução do perfil de uma arriba litoral homogénea ou heterogénea: M – Erosão marinha; S_a – Erosão subaérea; (adaptado de Emery & Kuhn, (1982 *in* Viles & Spencer, 1995)

2.2. TIPOS DE MOVIMENTOS DE TERRENOS

2.2.1. Classificação geral

Relativamente à estabilidade de arribas, a fenomenologia em análise é incluída nos designados “movimentos de terrenos”. Genericamente este termo define todo o deslocamento derivado de instabilizações de qualquer volume de material constituinte de um talude, incluindo solo, rocha ou ambos, no sentido do sopé do mesmo por acção predominantemente gravítica (*United States Geological Survey - USGS*, 2004). Neste contexto, Varnes (1984) propõe o termo *landslide*, que abrange a maioria de todos os movimentos de massa em taludes, excluindo nesta definição as avalanches de neve ou gelo e fenómenos de subsidência.

A variedade de tipos de ocorrência de movimentos de terrenos e a vasta gama de inter-relações entre si, função de uma grande variedade de critérios, tem dificultado o estabelecimento de uma classificação unânime para este tipo de fenómeno. Assim, ao longo do tempo têm sido propostas diferentes classificações por vários autores de forma a conseguir algum consenso no que diz respeito à terminologia utilizada (Bromhead, 1992). Estas classificações baseiam-se em critérios como a geometria do movimento, velocidade de ocorrência, tipo de material afectado, actividade do movimento, entre outros (Lamas, 1998).

Neste contexto, a classificação proposta por Varnes (Tabela 2.1) é a que reúne maior consenso na comunidade científica, sendo geralmente adoptada pela maioria das instituições. O autor baseou a sua classificação em dois critérios principais: (1) Tipologia do movimento; (2) Tipo de material envolvido.

Tabela 2.1 – Classificação simplificada de Varnes (adaptado de Varnes 1978 in USGS, 2004)

Tipo de movimento		Tipo de material	
		Maciço rochoso	Solos
			Predominantemente grosseiros Predominantemente finos
Queda		Com rochas	Com detritos Com terra
Tombamento		Com rochas	Com detritos Com terra
Escorregamento	Rotacional	De rochas	De detritos De terra
	Translacional		
Expansão lateral		De rochas	De detritos De terra
Fluência		De rochas	De detritos De terra
		(Fluência profunda)	(Fluxo de solo)
Movimentos complexos		Combinação mínima de dois dos tipos principais	

O tipo de movimento de terreno mais comum, mas não exclusivo, em arribas rochosas litorais é designado por “queda de blocos” (*rockfall*). Quando se dá o movimento de mais do que um bloco é comum a utilização dos termos “derrocada” ou “desmoronamento”.

2.2.2. Queda de blocos (*rockfall*)

Consiste num deslocamento muito rápido de blocos rochosos, cujo destaque a partir de um plano muito inclinado (como são exemplos as escarpas litorais), inicia um movimento de queda livre parcial ou total, respectivamente com ou sem contacto temporário com o referido plano. Este movimento inicial é geralmente seguido de ressalto e rolamento dos blocos afectados até à imobilização a cotas mais baixas.

A distância que os elementos destacados percorrem varia com a sua geometria, com o declive da escarpa, com o ângulo inicial de impacto, com a presença ou não de vegetação, e depende igualmente das características físicas e mecânicas do material, particularmente as suas propriedades resistentes.

Quando os diferentes materiais que constituem uma arriba apresentam comportamento heterogéneo em termos de resistência aos agentes erosivos, os materiais mais resistentes são postos em evidência, formando consolas de balanço decimétrico a métrico sobre os materiais mais freáveis que sofrem um mais rápido recuo. O destaque inicial dos blocos ocorre geralmente a partir de uma superfície de fraqueza estrutural, como planos de fracturação, planos de xistosidade ou fendas de tracção. A abertura progressiva da fenda eventualmente induz a anulação do contacto bloco/maciço rochoso, dando-se a rotura, regra geral, segundo um de três mecanismos principais: corte, flexão e tracção, como explica a Figura 2.3. A rotura por corte é caracterizada pelo movimento do bloco ao longo da superfície onde a resistência ao corte é anulada, sendo o mecanismo de rotura mais usual em consolas destacadas por fendas de tracção. No caso mais simples o movimento ocorre quando o peso do bloco supera a resistência ao corte do material.

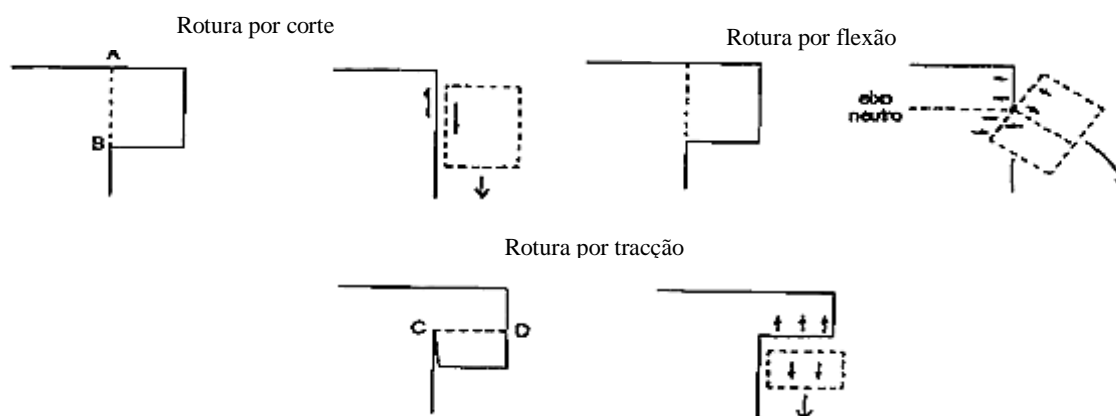


Figura 2.3 – Rotura de blocos em consola (adaptado de Richards & Lorriman, 1987)

Na rotura por flexão o bloco sofre rotação em torno do eixo onde não são mobilizadas quaisquer tensões (eixo neutro). Acima deste eixo são mobilizadas tensões de tracção e abaixo dominam as tensões compressivas. A rotura por tracção dá-se quando o peso da parte inferior do bloco excede a resistência à tracção do material constituinte.

Segundo Bromhead (1992), a identificação expedita de zonas afectadas instabilizações recentes pode ser efectuada através da avaliação da textura da sua face e do aspecto dos planos de deslizamento. Uma zona com muitas rugosidades, claramente desgastada pela acção dos agentes erosivos (pluviosidade, vento, percolação interna na arriba, acção mecânica e química das águas do mar) não terá sofrido instabilizações num passado recente. Pelo contrário, quando as cicatrizes de rotura se encontram limpas e bem definidas, a derrocada terá sido recente.

2.2.3. Tombamento (*toppling*)

Este mecanismo de instabilidade é caracterizado pelo movimento de rotação de um bloco, coluna ou painel de rocha, destacado por descontinuidades pré-existentes subverticais ou com forte inclinação para o interior do maciço. Estas descontinuidades podem corresponder a planos de estratificação, xistosidade, fracturação ou a fendas de tracção resultantes da rápida descompressão do terreno confinante em virtude da erosão de uma camada sobre a qual se apoia um bloco proeminente de arriba. O aumento da pressão hidrostática pela água acumulada nas descontinuidades constitui um factor favorável à instabilização destes blocos, assim como as tensões exercidas pelo maciço adjacente.

A estabilidade de arribas afectadas por este tipo de mecanismo é dependente de diversos parâmetros. A análise de situações em que a descontinuidade que destaca o bloco não apresenta coesão é condicionada: (1) Pela altura (h) e largura do bloco (b); (2) Pela inclinação do plano sobre o qual o bloco assenta (ψ); (3) Pelo ângulo de atrito entre a base do bloco e o plano (ϕ). Ashby (1971 *in* Hoek & Bray, 1981), definiu diferentes estados de estabilidade definidos por relações entre estes parâmetros, considerando que quando o vector peso (w), que passa no centro de gravidade do bloco, é projectado para um ponto fora da sua base a estabilidade do sistema é comprometida e ocorre tombamento (Figura 2.4). O tombamento difere dos mecanismos de queda de blocos na medida em que a rotação é normalmente realizada abaixo do centro de gravidade da massa instável, ou em torno da sua base, quando a tracção mobilizada ao longo da superfície de fraqueza ultrapassa a resistência. Uma outra diferença prende-se com o facto de nem sempre ocorrer queda livre após a rotação, sendo que a ocorrência de ressalto e/ou rolamento está dependente da topografia do terreno em frente do local de destaque.

Segundo Amini *et al.*, (2012), maciços rochosos afectados por uma família de descontinuidades fortemente inclinada para o interior do talude e por uma outra normal a esta última constituem casos de instabilidade em que os painéis de rocha tombam devido à acção combinada da tracção mobilizada e do peso próprio das colunas

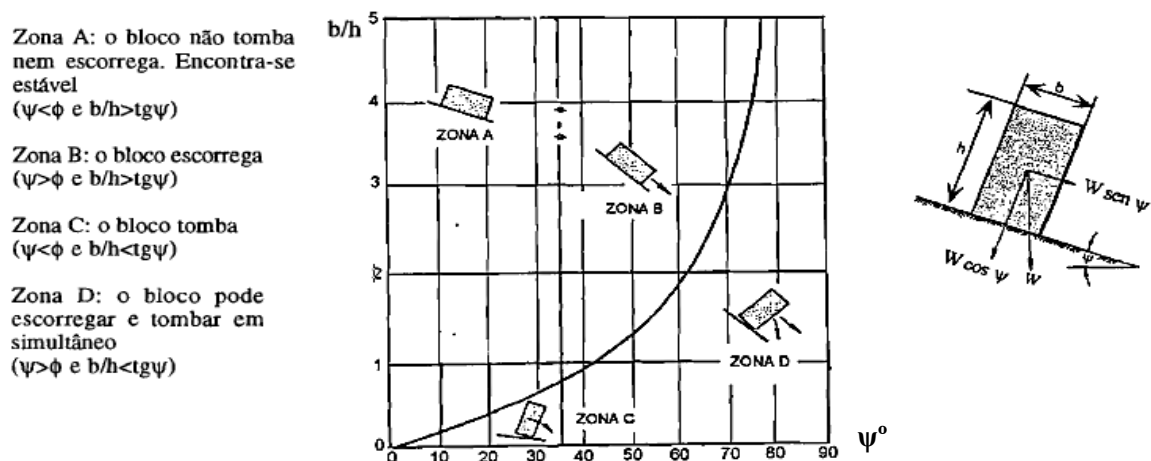


Figura 2.4– Situações de equilíbrio de um bloco unitário (adaptado de Ashby, 1971 in Hoek & Bray, 1981)

Este modo de rotura é designado pelo autor como “tombamento por bloco-flexão” (Figura 2.5, à esquerda), constituindo um dos casos mais comuns em arribas rochosas fortemente compartimentadas. Em arribas fortemente afectadas por erosão marinha a perda de material, normalmente a partir da sua base, favorece a geração de fendas de tracção em virtude da descompressão do maciço. Estas estruturas assumem papel fundamental na mobilização de instabilizações a partir de duas acções principais: (1) Simplificação da infiltração e percolação de águas de escorrência superficial para o interior do maciço; (2) Gerações de pressões hidrostáticas na direcção do bloco destacado, quando as fendas se encontram preenchidas por água.

Este processo apresenta geralmente carácter irreversível, pois a progressão da fenda de tracção no sentido da base da arriba e o aumento da sua abertura permitem, por sua vez, um cada vez maior afluxo de água ao interior do maciço, reforçando o destaque do bloco instabilizado. Este mecanismo, geralmente conhecido por tombamento por abertura e fenda de tracção (*tension crack toppling*) termina quando o centro de gravidade do bloco é projectado para fora da sua base, dando-se então a rotação e queda do mesmo (Figura 2.5, à direita).

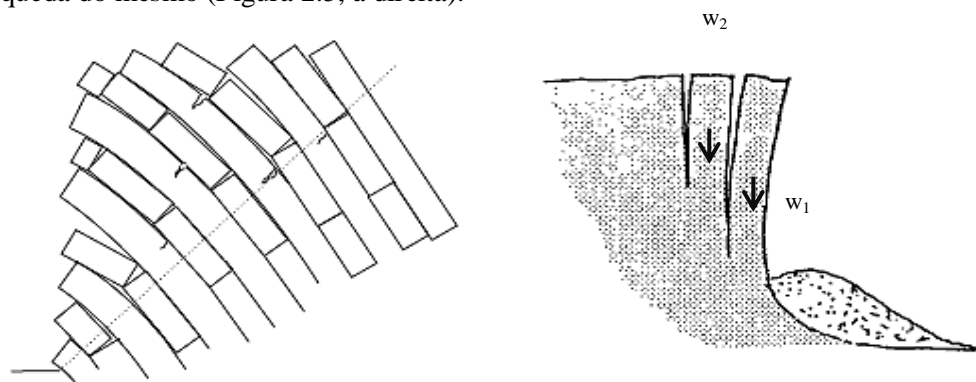


Figura 2.5– Mecanismos de rotura por tombamento. À esquerda: Tombamento por bloco-flexão (Amini *et al.*, 2012); À direita: Tombamento por abertura e fenda de tracção (adaptado de Goodman & Bray, 1976 in Hoek & Bray, 1981)

Outro mecanismo responsável pela indução de instabilizações por tombamento em arribas ocorre quando existem diferenças significativas nas propriedades resistentes entre o material que constitui o

bloco destacado e a camada subjacente que lhe serve de base. Neste caso, a progressiva alteração da camada menos competente promove uma redução nas suas características de deformabilidade, especialmente nas zonas exteriores, mais afectadas pelos fenómenos de erosão marinha. Esta diferença na deformabilidade da camada pode potenciar a ocorrência de assentamentos diferenciais na base do bloco, devido ao seu peso próprio, que atingem o seu valor máximo na zona exterior, promovendo condições propícias ao movimento (Evans, 1981 *in* Bromhead, 1992).

2.2.4. Escorregamento (*slide*)

Este tipo de movimento é caracterizado pela existência de uma superfície de rotura por corte através da qual é mobilizado o movimento de um determinado volume de material instabilizado. A ocorrência de escorregamentos é vulgarmente associada a taludes em maciço terroso, mas podem desenvolver-se em meios heterogêneos ou essencialmente rochosos, sendo que neste último caso a compartimentação e estado de meteorização do maciço rochoso desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de superfícies de rotura por corte. Varnes (1978 *in* USGS, 2004) classifica estes movimentos em dois tipos, baseando-se na geometria da superfície de rotura: (1) Escorregamentos rotacionais; (2) Escorregamentos translacionais (Figura 2.6).

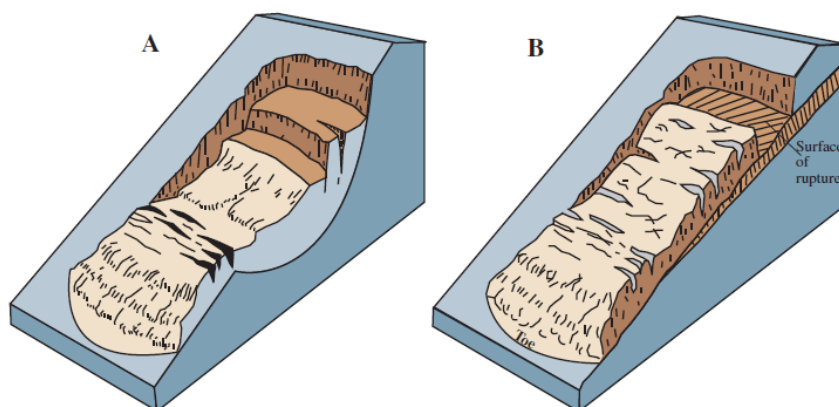


Figura 2.6– Tipos de escorregamento: A – Rotacional; B – Translacional (adaptado de USGS, 2004)

2.2.4.1. Escorregamento rotacional (*slump*)

Os escorregamentos rotacionais definem uma superfície de rotura curvilínea, com a face côncava virada para cima, sendo que o movimento é aproximadamente rotacional em torno de um plano paralelo à superfície de rotura e transversal ao escorregamento (United States Geological Survey - USGS, 2004). Hutchinson (1988 *in* Lamas, 1998) divide estes movimentos em singulares, múltiplos ou sucessivos, sendo que no primeiro caso propõe ainda uma subdivisão baseada na espessura de material instabilizado, estimada a partir do afloramento do plano de rotura, que pode surgir na vertente (rotura de talude), na base do talude (rotura de sopé), ou a jusante do mesmo (rotura pela base).

Este tipo de rotura é mais comum em terrenos coesivos e preferencialmente homogéneos. O aumento das características resistentes dos terrenos em profundidade devido ao incremento das tensões efectivas, condiciona por regra o desenvolvimento de planos de rotura a grande profundidade. Em maciço rochoso, a presença de zonas intensamente meteorizadas ou compartimentadas por uma rede de fracturação densa e pouco espaçada, com orientações aleatórias imprime um comportamento isotrópico ao maciço, favorecendo a formação de roturas semi-circulares.

Dado que este tipo de rotura pode mobilizar variados volumes de material, Giani (1992) refere a importância de caracterizar a geometria do movimento, nomeadamente através da identificação da superfície de rotura que deve ser imediatamente localizada por observação directa, ou através de prospecção *in situ*.

2.2.4.2. Escorregamento translacional (*planar slide*)

Os escorregamentos translacionais são caracterizados pelo deslizamento de material a partir de uma superfície total ou aproximadamente planar. Em maciço rochoso, as condições para a ocorrência de instabilizações são claramente dependentes das características estruturais do maciço e da orientação do talude.

As superfícies ao longo do qual ocorre o movimento são geralmente definidas por descontinuidades estruturais do maciço, nomeadamente superfícies de estratificação, de fracturação, de xistosidade, ou planos de falha. A orientação e distribuição destas superfícies, se concordantes com a atitude da face do talude, podem potenciar situações de instabilidade sendo que, no caso de a coesão ser nula, a relação entre os valores da inclinação e do ângulo de atrito nas superfícies de deslizamento condiciona fortemente a estabilidade do sistema.

A existência de camadas com grande variabilidade nas suas características resistentes pode igualmente constituir um factor propício à ocorrência de instabilizações. Considere-se o caso de um talude rochoso litoral que apresenta uma cobertura de material não consolidado, fruto de forte meteorização superficial. A zona de transição entre esta camada de cobertura e o maciço fracamente meteorizado define uma superfície potencial de deslizamento, que poderá mobilizar volumes geralmente pouco elevados, em função da profundidade da camada de alteração superficial que frequentemente não ultrapassa alguns metros. A instabilização destes materiais é normalmente associada a períodos de intensa precipitação que favorecem o aumento das pressões intersticiais na camada superficial com consequente diminuição da sua resistência ao corte (Corominas, 1996).

2.3. AGENTES E CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE TERRENO

É fundamental a identificação dos motivos que levam à ocorrência de movimentos de terreno de forma a melhor prever eventuais situações de instabilidade que possam ocorrer em taludes e condicionar a sua evolução no caso de já se ter iniciado o processo de instabilização. A precisa e breve interpretação dos sinais de perda de equilíbrio permite a adopção de soluções de mitigação correctamente dimensionadas, obtendo-se a melhor relação qualidade/custo para cada situação. A estabilidade de um talude é condicionada por dois grandes grupos de factores designados por agentes e causas.

Os agentes são considerados como os factores intrínsecos ao meio ambiental que envolve o talude, englobando as condições climáticas, hidrológicas, geológicas (como seja a litologia, estrutura, hidrogeologia), morfológicas (forma de relevo, inclinação das vertentes) que, em distintas envolventes ambientais podem ser mais ou menos predisponentes à instabilização do talude. Por seu lado, as causas correspondem à forma de actuação dos agentes, promovendo a criação de desequilíbrios que levam à rotura do terreno e ao seu deslocamento gravítico na direcção da base do talude. Desta forma um único agente pode estar na origem de várias causas.

Crozier (1986 *in* Lamas, 1998) classifica os agentes em preparatórios, desencadeadores e controladores, baseando-se em critérios como o seu tipo e intensidade relativa. O primeiro grupo actua sobre o talude promovendo a aproximação ao limite da estabilidade, sem que se desencadeie a rotura. Alguns exemplos são a pluviosidade de fraca/média intensidade, a erosão aérea e marinha, oscilações do nível freático, condições cíclicas de gelo-degelo e amplitudes térmicas, entre outros.

Os agentes desencadeadores, por seu lado, colocam o talude numa situação de desequilíbrio, materializada pela ocorrência de rotura. Alguns exemplos são episódios de pluviosidade intensa e prolongada, sismos de elevada magnitude ou alteração do estado de tensão do maciço por acção directa do homem. A sua maior ou menor eficácia é condicionada pelos agentes controladores, que definem as características do movimento (geometria, velocidade e duração) após a rotura. Este grupo abrange algumas características intrínsecas do meio (como litologia, hidrogeologia e morfologia) que, quando afectadas pelos agentes preparatórios podem contribuir para a diminuição da resistência global do talude, ou aumento das tensões de corte. A Figura 2.7 ilustra a forma como os agentes contribuem para a instabilização de um talude:

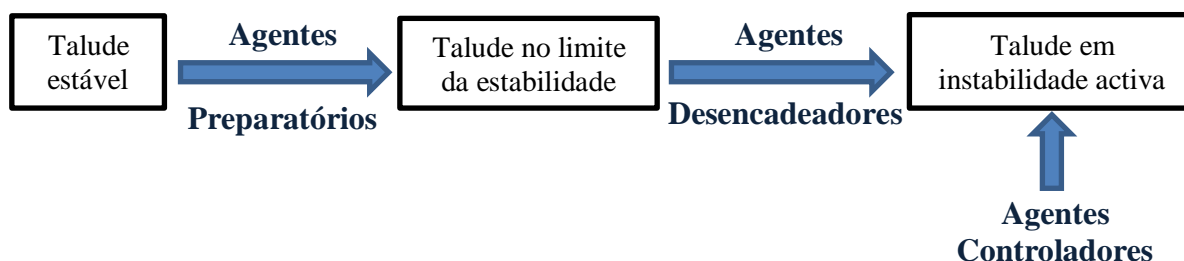


Figura 2.7– Esquema de um processo de instabilização de um talude. Adaptado de Crozier (1986 *in* Lamas, 1998)

Na natureza a rotura é geralmente alcançada lentamente por aumento das tensões de corte e/ou por diminuição da resistência ao corte até uma situação limite a partir da qual se inicia o movimento. Terzaghi (1950 *in* Lamas 1998) agrupou as causas dos movimentos de terrenos partindo do pressuposto que a acção de um determinado agente se traduz em causas internas e externas, tendo em conta a forma como a rotura ocorre. Neste contexto, as causas externas são caracterizadas pelo aumento das tensões de corte do material, sem contudo se impor necessariamente uma diminuição da resistência. Alguns exemplos são o aumento da inclinação do talude, aumento das cargas aplicadas (*e.g.* por construção na crista) ou escavação na base por acção de agentes naturais ou antropogénicos.

Por outro lado, as causas internas implicam a diminuição da resistência ao corte do material, sem no entanto se verificar aumento das tensões de corte. Neste grupo, destaca-se a descompressão por alívio de tensões laterais, aumento das pressões intersticiais, ou rebaixamento súbito do nível freático.

A instabilização de arribas é um resultado da sua evolução geomorfológica, sendo que os principais agentes com tendência a potenciar fenómenos de desequilíbrio são os elementos da acção marinha, bem como aspectos climáticos (precipitação e vento) e a presença de coberto vegetal.

A acção marinha manifesta-se especialmente pelos efeitos da ondulação, correntes litorais e marés sobre a faixa litoral, sendo que a erosão subaérea raramente assume semelhante relevância. A intensidade destes agentes em costas de arriba viva é controlada pela geometria, litologias constituintes e pela sua posição relativamente ao mar.

O sopé das arribas é particularmente afectado pelas solicitações cíclicas promovidas pelas vagas marinhas, traduzindo-se em efeitos erosivos continuados que promovem o seu rápido recuo e levam à formação de consolas que sofrem posteriormente fenómenos de instabilização em concordância com os agentes da geodinâmica externa. Estes efeitos erosivos manifestam-se tanto mecanicamente como quimicamente. Entre as acções mecânicas destaca-se a abrasão motivada pelo lançamento de partículas sólidas contra a base que, juntamente com a abertura de fracturas pré-existentes pela pressão do ar e pelo crescimento de cristais salinos lançados pela rebentação, promovem a desagregação mecânica do maciço e portanto a diminuição do volume dos seus blocos constituintes. A alteração química manifesta-se pela transformação de minerais em compostos mais estáveis e menos resistentes por processos de hidratação e hidrólise, entre outros.

A pluviosidade é considerada o agente climático mais influente na modificação das condições de estabilidade dos taludes, sendo por isso conveniente uma avaliação pormenorizada da sua incidência diária, mensal ou anual de forma a estimar a probabilidade de ocorrência de instabilizações, naturalmente mais incidentes mas não limitadas às estações húmidas.

A pluviosidade desempenha por vezes um duplo papel como agente preparatório e desencadeador. Um episódio pluvioso de fraca intensidade pode induzir uma gradual redução da resistência ao corte de um maciço pelo acréscimo das pressões intersticiais motivadas pela infiltração de água, sendo que, um

incremento temporário na sua intensidade pode ser o suficiente para desencadear um movimento de terrenos.

Esta particularidade leva Polemio & Petrucci (2000) a considerar útil a definição de um intervalo de valores de pluviosidade em que o limite inferior corresponde à menor chuvada que desencadeia pelo menos uma instabilização, e um limite máximo que indica o valor mínimo de pluviosidade que desencadeia sempre um fenómeno de instabilidade.

Este agente tem ainda um importante papel na erosão superficial do talude, particularmente pelo impacto das gotas e escoamento superficial que afectam o material normalmente mais solto e alterado à superfície, arrastando as partículas de menor granulometria. A percentagem de água que é conduzida pelo escoamento superficial está dependente da geometria, litologia, grau de meteorização do talude e presença de coberto vegetal que condicionam a maior ou menor energia cinética ganha pelas águas de escorrência e assim a maior ou menor facilidade em infiltrar.

Lamas (1998) refere que a análise dos efeitos relativos à presença de vegetação em estabilidade de taludes reveste-se de elevada complexidade, uma vez que a sua relevância nos processos de estabilização varia consoante o tipo e características de vegetação que está implementada. A existência de vegetação rasteira impede o contacto directo das águas pluviais com o solo e reduz os efeitos erosivos das águas de escorrência, mantendo a estabilidade da encosta. Por seu lado, a vegetação de grande porte aumenta a coesão do solo por efeito das suas raízes e assume a função de obstáculo a eventuais blocos destacados que sofram deslocamento gravítico no sentido da base do talude. É importante referir que a presença deste tipo de vegetação pode, contudo ter um efeito adverso em maciços rochosos devido ao alargamento das fracturas existentes pelas raízes, ajudando à fragmentação do maciço. Também impõem acréscimo das tensões de corte no terreno devido ao peso próprio e transmitem tensões cíclicas no solo quando agitadas por ventos fortes.

2.4. ABORDAGENS E CONCEITOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO EM TALUDES NATURAIS

A par dos sismos, dos maremotos e da erosão marinha, os movimentos de terrenos em taludes são um dos principais perigos de índole geológica no território continental nacional. A sua imprevisibilidade leva a que a classificação do Risco associado a estes eventos tenha adquirido um lugar de destaque em diversas disciplinas das Ciências da Terra, particularmente ao longo da última década (van Westen *et al.* 2006), sendo que no contexto nacional referem-se os trabalhos de Zêzere (1997), Piedade (2009) e Menezes (2011).

Em conviência com os objectivos a que esta dissertação se propõe, é feita uma breve abordagem aos conceitos envolvidos no modelo conceptual de risco adoptado neste trabalho. Este modelo

corresponde ao modelo mais vulgarmente divulgado a nível internacional, tendo sido proposto inicialmente por Varnes (1984).

O termo Perigosidade é definido como a probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente danoso (perigo), de determinada magnitude, num determinado intervalo de tempo e inserido numa determinada área. Este termo não deve ser confundido com Susceptibilidade, sendo os dois termos frequentemente utilizados em contextos errados na literatura de especialidade. Na opinião de Zêzere (2005), a Susceptibilidade pode ser entendida como a probabilidade espacial de ocorrer determinado evento numa dada área. A grande diferença entre Perigosidade e Susceptibilidade prende-se, então, no facto de esta última não incluir a dimensão temporal na sua avaliação.

A avaliação da perigosidade a movimentos de terreno numa determinada área baseia-se na capacidade de antecipar o comportamento dos referidos movimentos que se pressupõe que irão ocorrer futuramente. Para tal é recorrente a utilização do conceito de “Uniformitarismo” neste tipo de avaliação, ou seja, parte-se do pressuposto de que as condições que determinaram a ocorrência de instabilizações no passado e presente irão, com elevada probabilidade, promover o enquadramento propício à ocorrência de futuras instabilizações. (Varnes, 1984; Piedade, 2009; Meneses, 2011).

Vulnerabilidade é tida como o grau de fragilidade de um dado elemento ou conjunto de elementos em risco (*e.g.* populações, edificações, actividades económicas), em virtude da ocorrência de um perigo potencial de determinada magnitude. Este parâmetro é função da extensão ou capacidade destes elementos para responder ao perigo ou às suas consequências.

Risco exprime a probabilidade “... da ocorrência de consequências gravosas, económicas ou para a segurança das pessoas, em resultado do desencadeamento de um fenómeno natural ou induzido pela actividade antrópica.” (Piedade, 2009, p. 40). A determinação do risco é feita através da combinação dos factores Perigosidade, neste caso tendo como perigo associado a ocorrência de movimentos de vertente, Vulnerabilidade, e o valor dos elementos em risco, através da equação [2.1] (Varnes, 1984), apresentando-se na Figura 2.8 as inter-relações entre estes conceitos (Zêzere, 2005).

$$\text{Risco} = \text{Perigosidade (P)} \times \text{Vulnerabilidade (V)} \times \text{Elementos em risco (E}_r\text{)} \quad [2.1]$$

Em virtude dos vários mecanismos de rotura e factores condicionantes à sua envolvente, podem verificar-se múltiplos comportamentos na mobilização do terreno afectado que justificam diferentes graus de dano nos elementos afectados pela ocorrência. Neste contexto Varnes (1984) e Meneses (2011) referem as características geológicas e geomorfológicas da zona de estudo que, em conjunto, com as características dos taludes (nomeadamente altura e declive) e dos movimentos (volume de material instabilizado, velocidade de ocorrência) como inerentes aos diferentes comportamentos

verificados. Destacam-se ainda as características físicas e mecânicas dos materiais afectados (em que o teor em água desempenha importante papel).

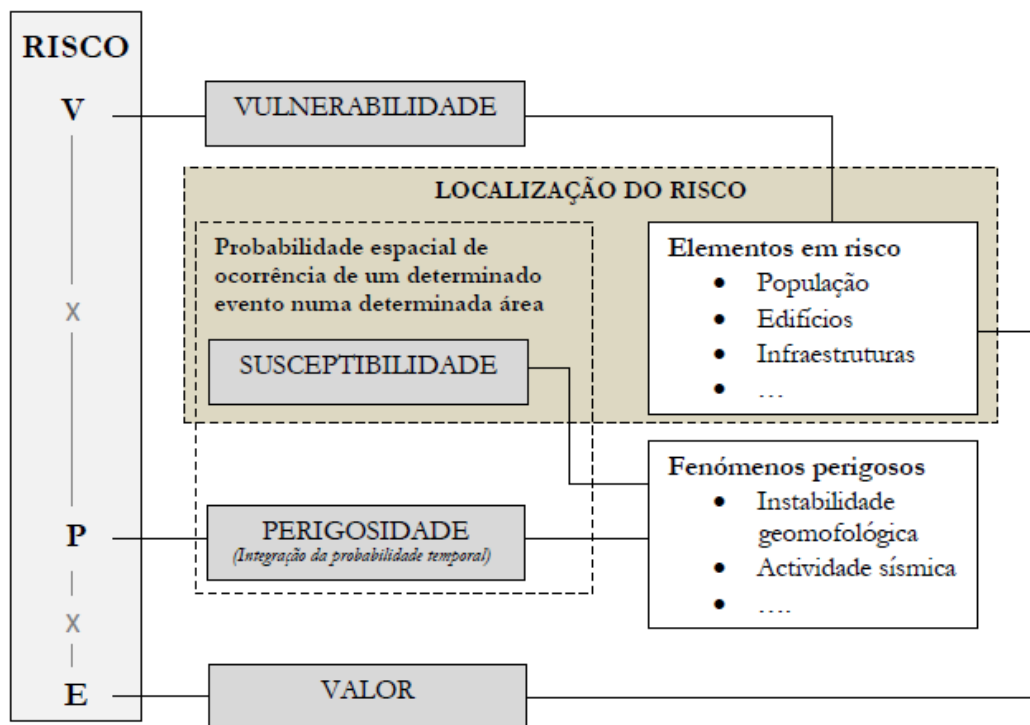


Figura 2.8 – Modelo conceptual de risco natural adaptado de Zêzere (2005) por Meneses (2011)

Segundo van Westen *et al.*, (*op.cit.*) a generalidade da comunidade científica classifica os métodos de avaliação de risco de movimentos de terrenos em função do nível de quantificação permitido, nomeadamente:

- Métodos quantitativos – Probabilidade e consequências totalmente quantificadas;
- Métodos semi-quantitativos – Probabilidade e consequências baseadas em valores ponderados;
- Métodos qualitativos – Probabilidade e consequências expressas em termos qualitativos;

As análises qualitativas baseando-se na simples classificação dos riscos de acordo com a sua magnitude, permitem a descrição da probabilidade de ocorrência e consequências associadas através de forma escrita, descritiva ou mediante aplicação de escalas de ordenação numérica. Esta metodologia não permite, no entanto, a avaliação da grandeza relativa entre os vários riscos identificados. A avaliação semi-quantitativa permite uma simples e célere priorização dos riscos identificados, (*e.g* através da aplicação de uma ponderação numérica dos termos da equação [2.1]). Esta metodologia permite um escalonar relativo utilizando classificações (*e.g* elevado, provável, médio, reduzido, etc.) e/ou índices (*e.g* de 1 a 5; de 0 a 1) para a sua caracterização. As análises

quantitativas são baseadas em estimativas numéricas dos riscos sendo, portanto, mais objectivas. Permitem a estimativa numérica dos riscos, sendo que os valores utilizados pretendem ser uma representação válida da grandeza real das consequências e da probabilidade para cada cenário avaliado.

Esta última metodologia é, muitas vezes, de difícil aplicação devido à ausência de informação não só espacial (*e.g.* urbanizações no local de estudo dificultam as observações no terreno), como temporal (*e.g.* ausência de cartas de inventariação de movimentos de terreno ao longo de vários anos não permitem obter a componente temporal da ocorrência destes fenómenos). Nestes casos torna-se útil a abordagem qualitativa ou semi-quantitativa que, sendo mais subjectivas, incluem um grau de incerteza nem sempre de fácil apreciação.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS

Nas últimas décadas desenvolveu-se fortemente o conhecimento relativo ao comportamento mecânico de maciços rochosos descontínuos pela cada vez maior necessidade de implementar estruturas de engenharia em meios geotécnicos menos favoráveis. Dado que em taludes, fundações e escavações subterrâneas a pouca profundidade a rotura é frequentemente controlada pela presença de descontinuidades, é reconhecida a importância destes elementos no comportamento mecânico do maciço rochoso. Sabe-se que estas superfícies, para além de imprimirem um carácter descontínuo e anisótropo ao maciço, representam superfícies de fraqueza estrutural que permitem a separação de planos e rotação de blocos e cunhas, desempenhando um papel fundamental no processo de deformação e rotura (Hoek, 2007). Em estudos de estabilidade de taludes é geralmente assumida como válida a teoria de Mohr-Coulomb, em que a resistência ao corte da superfície de deslizamento é função da coesão (c) e do ângulo de atrito ϕ (Coulomb, 1773 in Wyllie & Mah, 2004).

Segundo Vallejo *et al.*, (2002), o termo “descontinuidade” é aplicado a qualquer superfície de separação estrutural do maciço rochoso, de que são exemplos os planos de estratificação, xistosidade, diaclasamento e falhas. Hudson & Harrison (1997) acrescentam ainda a ausência de resistência à tracção como factor característico para a sua definição. Contudo, uma caracterização precisa destes elementos é frequentemente complexa e dispendiosa, necessitada de ensaios de campo e laboratório. Considerando que um maciço rochoso pode incluir milhares de descontinuidades, tal deve-se não só à variabilidade que estas características adquirem entre diferentes elementos, como à variabilidade normalmente existente ao longo de um mesmo plano. Este facto traduz-se numa grande dispersão de dados que condiciona a obtenção de valores representativos em análises de estabilidade, constituindo um dos grandes desafios nesta área (Park *et al.*, 2005).

3.1. DESCRIÇÃO GEOMECÂNICA DE DESCONTINUIDADES

As principais características das descontinuidades com implicações no comportamento geotécnico de maciços rochosos descontínuos e anisotrópicos são, segundo a ISRM (*International Society of Rock Mechanics*-1978), Hoek & Bray (1981) e Hudson & Harrison (1997), a atitude, o espaçamento, a persistência – Características geométricas; a rugosidade, o enchimento e a abertura – Características mecânicas (Figura 3.1). A descrição destas propriedades é feita a partir de observação de zonas expostas de taludes e em sondagens, através de tarolos recuperados e paredes do furo (Giani, 2002). É ainda importante referir o contributo da percolação ao longo das superfícies de fraqueza e o estado de meteorização das respectivas paredes. No caso de arribas de considerável altura as descontinuidades apresentam à partida degradação das suas propriedades para o topo. Entre outros motivos esta variação é devida à descompressão do maciço e alívio das tensões laterais pela erosão costeira.

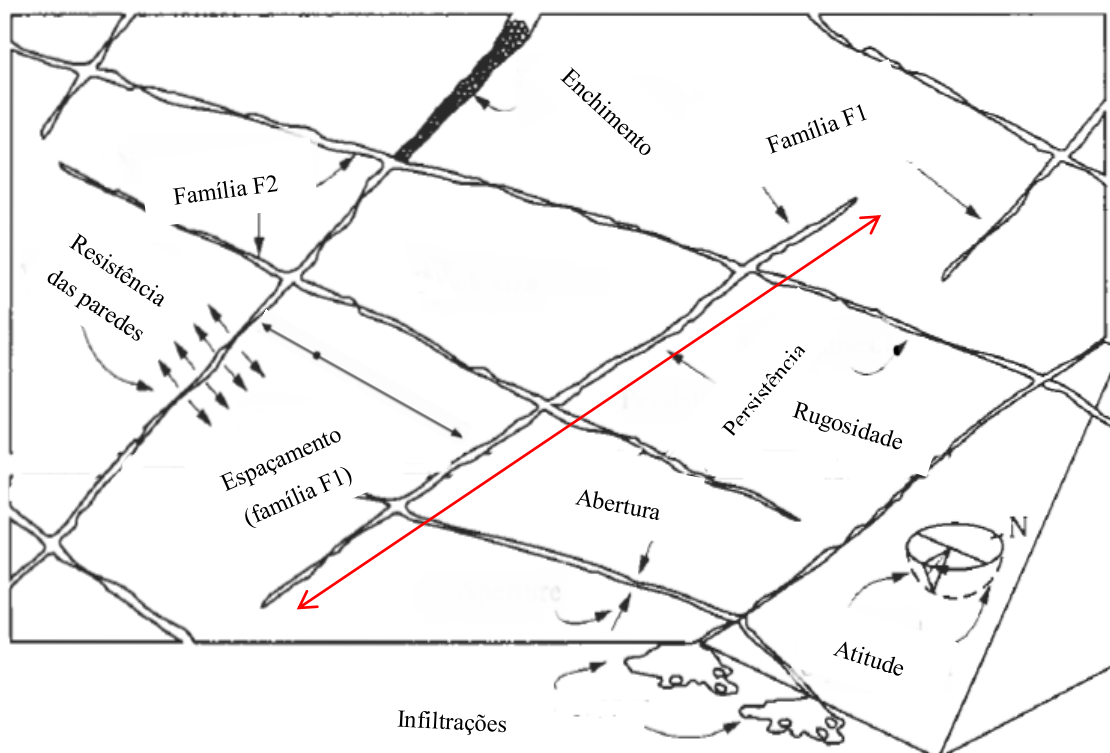


Figura 3.1– Diagrama das principais propriedades das descontinuidades (adaptado de Hudson, 1989 in Hudson & Harrison, 1997)

ATITUDE: Considerando uma descontinuidade como uma superfície planar, pode admitir-se que a sua atitude é definida por dois parâmetros: direcção, que corresponde ao ângulo que o traço (intersecção do plano da descontinuidade com o plano horizontal) faz com o Norte; inclinação, correspondente ao ângulo que a linha de maior inclinação faz com o plano horizontal (Figura 3.2). Ao fazer-se a análise da distribuição das descontinuidades é aconselhável a sua representação gráfica, de forma a obter-se uma visão geral da compartimentação do maciço rochoso e forma dos blocos (Vallejo *et al.*, 2002). Diferentes métodos podem ser adoptados neste sentido, sendo o mais comum a utilização de redes de projecção estereográfica, frequentemente de igual ângulo (Hudson & Harrison, 1997). Conjuntos de medições com atitudes diferenciadas entre si, mas apresentando uma certa regularidade entre os seus elementos, definem famílias, cuja atitude média é estabelecida a partir de valores representativos.

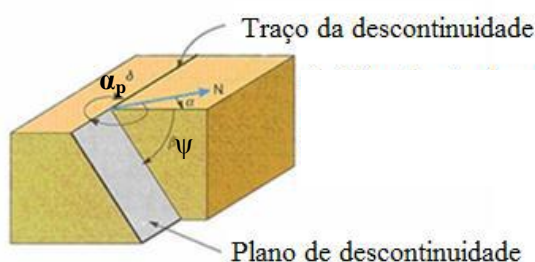


Figura 3.2– Avaliação da atitude de uma descontinuidade. α_p – direcção do plano de rotura; ψ – inclinação do plano de rotura (adaptado de Vallejo *et al.*, 2002)

ESPAÇAMENTO: Refere-se à distância entre descontinuidades adjacentes, sendo esta distância medida preferencialmente ao longo da face de um talude, da parede de um túnel, ou do eixo de um testemunho de uma sondagem. Winnes & Lilly (2001) consideram a distinção entre espaçamento total (S), por família, ou normal, consoante se as medições se realizem entre descontinuidades adjacentes, adjacentes e pertencentes à mesma família ou ao longo de uma linha normal à orientação média da família respectivamente. Esta propriedade é relevante na avaliação do comportamento geomecânico de maciços rochosos, com influência directa nas suas condições de percolação (ISRM, 1981).

A importância da correcta avaliação desta propriedade em análises de estabilidade reside no facto de possibilitar a determinação do tamanho dos blocos que compartimentam o maciço rochoso, estando as forças instabilizadoras directamente dependentes do tamanho, volume e área das faces dos blocos (Giani, 1992; Winnes & Lilly, 2001). A determinação do espaçamento (Figura 3.3) pode ser realizada segundo as recomendações propostas pela ISRM (1981), que apresenta a sua própria classificação (Tabela 3.1).

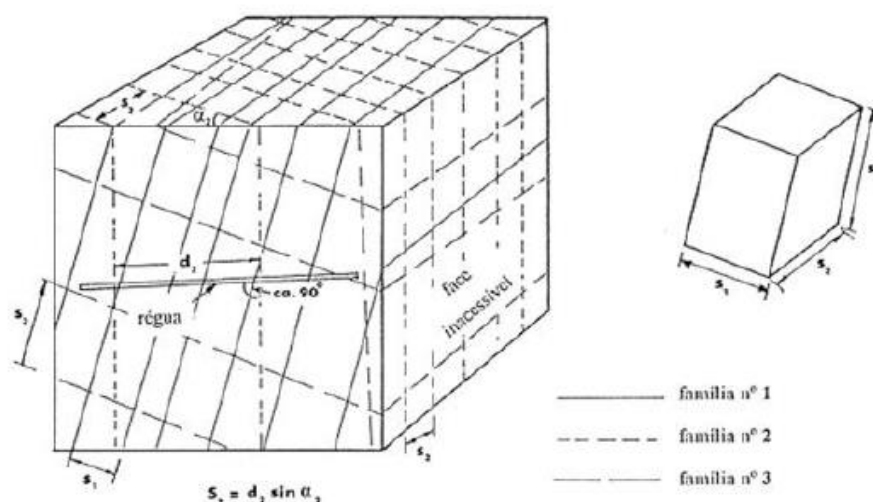


Figura 3.3– Medição do espaçamento de diferentes famílias a partir de uma face exposta do maciço (ISRM, 1978)

Tabela 3.1 – Classes de espaçamento (ISRM. 1981)

Espaçamento (cm)	Terminologia		Descrição	
>200	F ₁	F ₁₋₂	Muito afastadas	Afastadas
60 – 200	F ₂		Afastadas	
20 – 60	F ₃		Moderadamente afastadas	
6 – 20	F ₄	F ₄₋₅	Próximas	Próximas
<6	F ₅		Muito próximas	

PERSISTÊNCIA (p): É entendida como a extensão lateral de uma descontinuidade ao longo de um plano (Hudson & Harrison, 1997), afirmando-se como um dos parâmetros com maior influência na resistência mecânica de um maciço rochoso. Segundo Einstein *et al.*, (1983), esta propriedade pode ser estimada a partir da observação do traço das descontinuidades numa superfície exposta de um talude. À escala do maciço rochoso, estas superfícies são, tradicionalmente de pequenas dimensões e apenas bidimensionais, pelo que quando as descontinuidades se prolongam para o interior do maciço ou para fora da zona exposta é manifestamente difícil a quantificação da persistência (Figura 3.4).

A importância deste parâmetro em análises de estabilidade de taludes é associada à possibilidade de estimar a resistência ao longo da descontinuidade, sendo que se o respectivo plano não for totalmente persistente, a resistência ao corte mobilizada pela banda de rocha será uma a duas ordens de grandeza superior à resistência mobilizada no plano, aumentando significativamente a estabilidade. Pelo contrário, se a descontinuidade for totalmente persistente, a resistência ao corte do maciço no local decresce (Einstein *et al.*, 1983).

Estas ideias são partilhadas por Vallejo *et al.*, (2002), que reitera a importância de um estudo pormenorizado das descontinuidades mais extensas, de forma a identificar os potenciais planos de rotura. Geralmente utiliza-se a classificação proposta pela ISRM (1981) que distingue cinco classes para esta característica (Tabela 3.2).

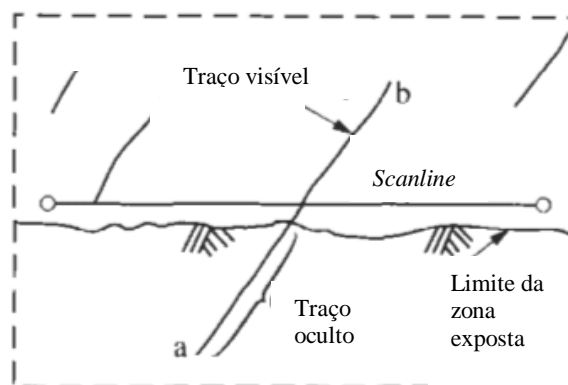


Figura 3.4– Traços de descontinuidades expostos e ocultos (adaptado de Hudson & Harrison, 1997)

Tabela 3.2 – Classes de persistência (ISRM, 1981)

Persistência	Extensão (m)
Muito pouco contínuas	<1
Pouco contínuas	1 – 3
Continuidade média	3 – 10
Continuidade elevada	10 – 20
Continuidade muito elevada	>20

RUGOSIDADE: É uma medida das irregularidades e ondulações presentes na parede de uma descontinuidade, constituindo portanto uma descrição geométrica da sua superfície (Poropat, 2009). A presença de rugosidades ou ondulações numa superfície de descontinuidade tende a aumentar significativamente a sua resistência ao corte (ou deslizamento sob baixas tensões de confinamento), pelo que se trata de uma das propriedades mais importantes em análises de estabilidade de taludes rochosos principalmente em situações de ausência de preenchimento e no caso de descontinuidades fechadas, não afectadas por deslocamentos prévios (Giani, 1992). Neste contexto Patton (1966 in Hoek, 2007), após a realização de numerosos ensaios em superfícies rugosas regulares, propôs a seguinte relação, válida para baixas tensões normais:

$$\tau = \sigma_n \tan(\phi_b + i) \quad [3.1]$$

Em que:

τ = Tensão de corte;

σ_n = Tensão normal na parede da descontinuidade;

i = Inclinação da rugosidade relativamente à direcção de corte (ângulo de aspereza);

ϕ_b = Ângulo de atrito básico;

A obtenção deste parâmetro pode ser feita de forma expedita através de comparação visual da descontinuidade com perfis padrão de rugosidade (ISRM, 1978, 1981), conseguindo-se assim obter uma medida qualitativa da rugosidade (Tabela 3.3). Visto que o perfil de rugosidade normalmente varia consoante a direcção de observação, em estudos de estabilidade é recomendado o conhecimento prévio da direcção do movimento, de forma a garantir a precisão da análise. Barton & Choubey (1977 in Hoek, 2007) propõem uma outra metodologia para avaliação da rugosidade através do designado *Joint Roughness Coefficient* (JRC), que se baseia na comparação de perfis de rugosidade tipo com perfis observados no campo. Os mesmos autores propõem uma outra relação com a resistência ao corte (equação [3.2]) que, segundo Tesmafarim (2007) permite uma boa estimativa do ângulo de atrito residual (ϕ_r).

$$\tau = \sigma_n \tan \left(\text{JRC} \log_{10} \left(\frac{\text{JCS}}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right) \quad [3.2]$$

Em que:

τ = Tensão de corte;

σ_n = Tensão normal (na parede da descontinuidade);

JRC = *Joint roughness coefficient*;

JCS = *Joint compressive strength*;

ϕ_r = Ângulo de atrito residual;

A ondulação pode ter uma maior ou menor influência na resistência ao deslizamento das descontinuidades na análise da estabilidade de um talude, dependendo da sua dimensão relativa comparativamente com a da superfície potencial de deslizamento (Johnson & Degraff, 1988).

Tabela 3.3 – Classificação de rugosidade a várias escalas (adaptado de ISRM, 1981)

Categoria	Perfil: Pequena escala	Perfil: Escala intermédia	Terminologia
I	Rugosa	Denteada	R ₁₋₂ Pouco rugosa
II	Lisa		
III	Espelhada		
IV	Rugosa	Ondulada	R ₃ Medianamente rugosa
V	Lisa		
VI	Espelhada		
VII	Rugosa	Planar	R ₄₋₅ Muito rugosa
VIII	Lisa		
IX	Espelhada		

ABERTURA: Define-se como a distância, na perpendicular, medida entre as paredes de uma descontinuidade, com o espaço intersticial a ser preenchido por ar ou água (Figura 3.5) (ISRM, 1978). Esta propriedade é normalmente variável ao longo da extensão da descontinuidade, podendo exibir aberturas da ordem dos cm à superfície, e em profundidade apresentar-se completamente selada. As diferenças no estado de tensão em maciços rochosos, caracterizado genericamente por intensas tensões confinantes em profundidade e descompressão lateral à superfície explicam em parte esta variação.

Relativamente a análises de estabilidade de taludes, esta propriedade tem influência na resistência ao corte e na condutividade hidráulica do maciço. A ISRM (1978, 1981) propõe a classificação apresentada na Tabela 3.4, sendo que cada família de descontinuidade é estudada individualmente e é caracterizada pela média dos valores obtidos.

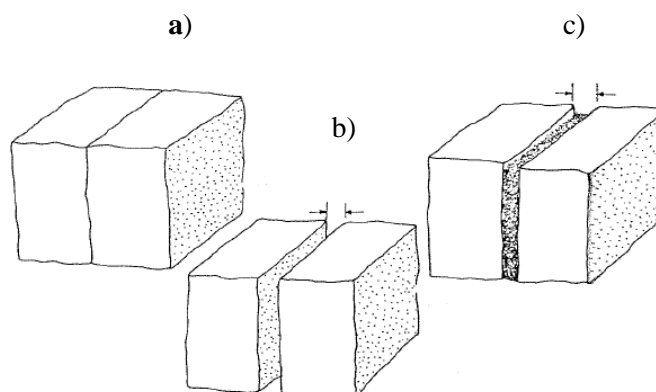


Figura 3.5 – Abertura de uma descontinuidade: a) aberta; b) fechada; c) com preenchimento (adaptado de Giani, 1992)

Tabela 3.4– Classes de abertura (ISRM, 1978, 1981)

Abertura (mm)	Descrição	Designação
>0,1	Muito apertada	Descontinuidade fechada
0,1 – 0,25	Apertada	
0,25 – 0,5	Parcialmente aberta	
0,5 – 2,5	Aberta	Descontinuidade entreaberta
2,5 – 10	Medianamente larga	
>10	Larga	
10 – 100	Muito larga	Descontinuidade aberta
100 – 1000	Extremamente larga	
>1000	Cavernosa	

ENCHIMENTO: Corresponde ao material que preenche, total ou parcialmente, o espaço entre as paredes de uma descontinuidade, apresentando em geral menor competência que a rocha envolvente. Esta situação leva a que, com excepção de enchimentos com elevada resistência e deformabilidade, como é o caso de pirite, calcite ou quartzo, as descontinuidades com enchimento exibam menor resistência ao corte que descontinuidades fechadas, ou de paredes limpas (Giani, 1992). Assim pode considerar-se que, devido à variabilidade exibida pelas propriedades físicas e mecânicas do enchimento, o comportamento da descontinuidade é, em grande parte, controlado por esta propriedade.

Segundo Vallejo *et al.*, (2002), o material de enchimento pode ser singenético, ou seja contemporâneo da formação das descontinuidades, ou epigenético e portanto posterior à formação das mesmas. Um exemplo comum deste último caso corresponde a enchimentos resultantes da meteorização do maciço rochoso envolvente. As propriedades físicas e mineralógicas do enchimento influenciam as condições de percolação ao longo da descontinuidade. Este cenário é particularmente desfavorável em enchimentos argilosos, que podem sofrer lavagem e provocar uma diminuição acentuada da resistência ao deslizamento (ISRM, 1978).

PERCOLAÇÃO. Refere-se ao fluxo de água e presença de humidade que poderão ser observados nas descontinuidades (ISRM, 1978), normalmente devido à permeabilidade secundária, visto que a percolação pelos vazios de rocha tem apenas significado em certos maciços rochosos de natureza sedimentar.

A presença de água é muitas vezes associada a situações de instabilidade de taludes motivadas pelo aumento das pressões neutras no maciço e desenvolvimento de tensões hidrostáticas favoráveis à instabilização de blocos destacados por fendas de tracção. A água de percolação está directamente relacionada com a precipitação eficaz no maciço rochoso, função das condições climáticas do local e geomorfologia do talude (Celico, 1986 *in* Giani, 1992). A observação das características de percolação das descontinuidades é de certa forma subjectiva devido à dificuldade em distinguir a água de percolação na descontinuidade com as águas de escoamento superficial (Tabela 3.5).

Tabela 3.5– Descrição da percolação nas discontinuidades segundo Bieniawski (1989)

Parâmetro	Descrição				
Presença de água nas discontinuidades	Seco	Húmido	Molhado	Escorrimento	Fluxo contínuo

ESTADO DE METEORIZAÇÃO: A meteorização dos maciços rochosos inicia-se nas paredes das discontinuidades e vai-se aprofundando progressivamente no material rocha por efeito dos agentes atmosféricos e da água de percolação. A avaliação do estado de meteorização das paredes das discontinuidades justifica-se, visto apresentar-se geralmente em piores condições que o interior da massa rochosa. Este parâmetro é avaliado de acordo com a Tabela 3.6.

Tabela 3.6–Grau de meteorização das paredes das discontinuidades (ISRM, 1981)

Designação	Descrição
Fresca	Não se observam sinais de meteorização na matriz rochosa
Descolorada	Observam-se mudanças na coloração original do material rocha
Desintegrada	A rocha é friável, apesar de os grãos minerais estarem decompostos, mantendo-se a estrutura original
Decomposta	A maioria dos minerais estão decompostos e não se reconhece a estrutura original

AMOSTRAGEM LINEAR: O registo das características das discontinuidades pode ser feito no campo com recurso à técnica da amostragem linear (*scanline sampling technique*). Esta metodologia está descrita por diversos autores como Priest & Hudson (1981), Brady & Brown (2005), Santos Pereira (2007) entre outros, tendo sido a nível nacional aplicada em diversos contextos geológico-geotécnicos destacando-se, entre outros, os trabalhos de Santos Pereira (2007) e Fontinhas (2012). Baseia-se no levantamento não exaustivo das superfícies de discontinuidade ocorrentes numa dada face exposta de um talude, de forma a conseguir obter-se uma medida da compartimentação do maciço rochoso em análise por extrapolação dos dados obtidos. O procedimento consiste na colocação de uma fita graduada demarcada na face do talude, preferencialmente numa localização onde as famílias apresentem espaçamento próximo do médio, registando-se as características das discontinuidades por ela intersectadas (Figura 3.6).

Apesar de menos precisa que a utilização de tarolos de sondagem para efectuar as medições, esta técnica é valorizada por Priest & Hudson (1981), que destaca a sua conveniência, e ausência de erros significativos nas medições como principais vantagens. De acordo com Brady & Brown (2005), quando a *scanline* é feita na proximidade da base das arribas e a fractura em análise é muito contínua pode medir-se o semi-comprimento superior do seu traço na face exposta da arriba, obtendo-se posteriormente o valor do comprimento médio de cada família.

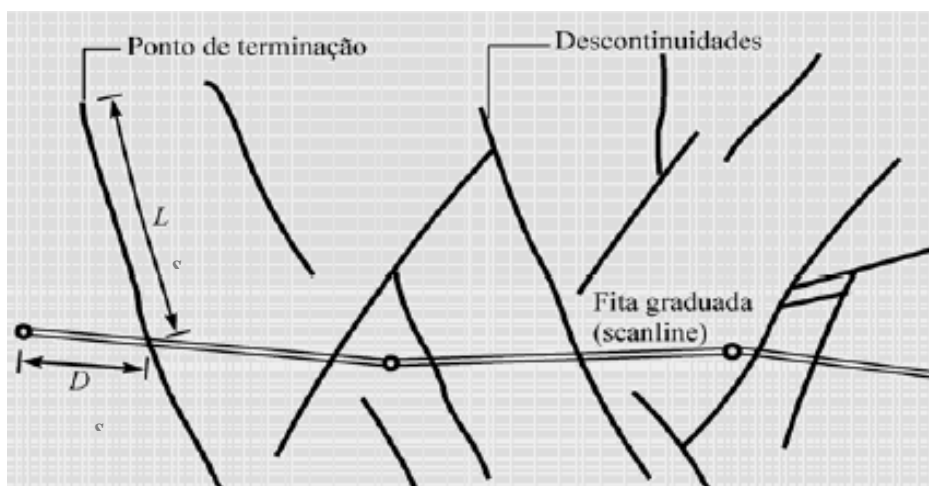


Figura 3.6 – Esquema da disposição para amostragem linear. D_s – Distância à origem da fita; L_s – Semi-persistência (adaptado de Brady & Brown, 2005)

3.2. AVALIAÇÃO DO VOLUME DOS BLOCOS

Na avaliação do risco associado à queda de material em arribas é importante estimar a quantidade de material susceptível de incorrer em mecanismos de instabilidade, geralmente através da quantificação do volume dos blocos que compartimentam o maciço rochoso. Os parâmetros geométricos dos blocos, como seja a sua forma (Tabela 3.7) e tamanho (Figura 3.7) são, de acordo com a classificação de Palmström (1995 *in* Cardoso *et al.*, 2010), manifestamente dependentes da rede de fracturação existente no maciço.

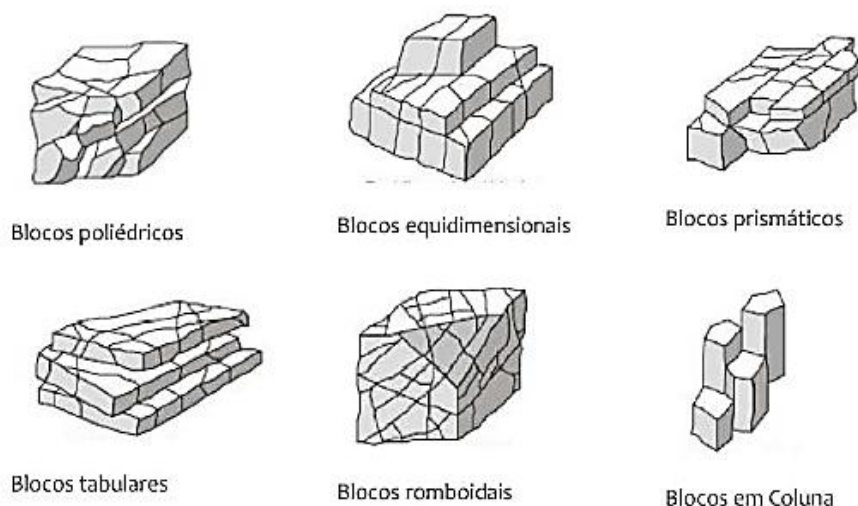


Figura 3.7 – Formas geométricas dos blocos em virtude do tipo de rede de fracturação (Palmström, 2005)

Tabela 3.7 – Classificação do tamanho do bloco unitário (Palmström 1995 in Cardoso *et al.*, 2010)

Intervalo	Designação	Simbologia
10 cm ³ a 200 cm ³	Muito pequeno	MP
0,2 dm ³ a 10 dm ³	Pequeno	P
10 dm ³ a 200 dm ³	Médio	M
0,2 a 10 m ³	Grande	G
> 10 m ³	Muito grande	MG

Palmström (1995 in Cardoso *et al.*, 2010) sugere uma relação entre o volume do bloco unitário (V_b), J_v e um parâmetro β que depende da forma dos blocos observados (Tabela 3.8), como se verifica na equação [3.3].

$$V_b = \beta \times J_v^{-3} \quad \text{tal que: } \beta = 20 + 7 \left(\frac{h}{b} \right) \quad [3.3]$$

Tabela 3.8 – Estimativa de β (Palmström, 1995 in Cardoso *et al.*, 2010)

Forma dos blocos	β
Cúbica (dimensões das faces aproximadamente iguais)	27
Prismática (ligeiramente alongada) ou tabular (ligeiramente planos)	28 - 32
Moderadamente prismáticos ou moderadamente planos	33 - 59
Alongado ou plano	60 - 200
Bastante alongados ou bastante planos	> 200

Em que J_v (*Volumetric Joint Count*) é caracterizado pelo número de fracturas por metro cúbico (Palmström, 1974 in Cardoso *et al.*, 2010), h é a face de maior dimensão do bloco ensaiado e b corresponde à face de menor dimensão. Cardoso *et al.*, (*op.cit.*) recomenda um valor médio de 36 para o parâmetro β sempre que se desconheça a forma do bloco unitário. Os mesmos autores referem ainda que valores de J_v superiores a 80 são característicos em maciços de rochas fortemente anisotrópicas como os xistos.

3.3. CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS DE MACIÇOS ROCHOSOS

A caracterização geomecânica de um maciço rochoso é essencial para o estabelecimento de um modelo conceptual da geologia local. É com base neste modelo que poderão ser seleccionadas as variáveis a quantificar em função do tipo de trabalhos que se pretendem realizar (Marinos *et al.*, 2005). Com as classificações geomecânicas, pretende-se avaliar o comportamento do maciço interessado por um projecto de engenharia através da integração e tratamento de parâmetros geotécnicos seleccionados (*e.g.* parâmetros de resistência e deformabilidade) e estimados por métodos empíricos, preferencialmente ensaios simples e expeditos. O objectivo último é, segundo Rocha (1976), o zonamento do maciço rochoso de forma a viabilizar o dimensionamento de soluções de engenharia específicas para cada zona. Segundo Hoek (2007) as classificações geomecânicas têm grandes benefícios em fases preliminares de projecto de obra devido à falta de informação detalhada sem, contudo, substituir a realização de investigações *in situ* e laboratoriais em fases mais avançadas.

3.3.1. Basic Geotechnical Description of Rock Masses (BGD)

Esta classificação, proposta inicialmente pela ISRM (1981), corresponde a um sistema de descrição geotécnica de maciços rochosos que pode servir de apoio a descrições e/ou classificações mais pormenorizadas ou exclusivas para certos tipos de rochas ou obras geotécnicas. Pinho (2003) refere que a aplicação desta classificação tem vindo a ser generalizada na comunidade geotécnica, traduzindo-se numa elevada utilização em estudos geotécnicos para vários tipos de obra, nomeadamente na fase de estudo prévio e eventualmente anteprojecto. Os parâmetros considerados na aplicação da BGD são:

- A designação da rocha, com uma descrição geológica simplificada;
- Duas características estruturais do maciço rochoso, nomeadamente a espessura das camadas e o espaçamento das fracturas;
- Duas características mecânicas do maciço rochoso, nomeadamente a resistência à compressão uniaxial (RCU) e o ângulo de atrito das fracturas;
- Grau de meteorização (W), opcional;

A meteorização de uma rocha consiste na sua desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, de modo a restabelecer o equilíbrio físico-químico com o ambiente. A ISRM (1978, 1981) sugere que deve ser descrito o estado de meteorização do maciço rochoso, podendo este ser avaliado no terreno, realizando-se uma observação directa do afloramento e fazendo uma comparação com descrições padrão simplificadas.

A terminologia utilizada na qualificação dos parâmetros referidos é apresentada nas Tabelas 3.9, 3.10 e 3.11, expondo-se na Tabela 3.12 a classificação referente ao estado de meteorização do maciço rochoso. No que diz respeito à descrição do espaçamento, a terminologia adoptada está descrita na Tabela 2.2, quando se apresentou esta propriedade em contexto apropriado.

Tabela 3.9 – Classificação da resistência à compressão uniaxial proposta pela BGD (ISRM,1981)

RCU (MPa)	Simbologia		Descrição	
>200	S ₁	S ₁₋₂	Muito elevada	Elevada
60 – 200	S ₂		Elevada	
20 – 60	S ₃		Moderada	
6 – 20	S ₄	S ₄₋₅	Reduzida	Reduzida
<6	S ₅		Muito reduzida	

Tabela 3.10 – Classificação do ângulo de atrito proposta pela BGD (ISRM,1981)

ϕ (°)	Simbologia		Descrição	
>45	A ₁	A ₁₋₂	Muito elevado	Elevado
35 – 45	A ₂		Elevado	
25 – 35	A ₃		Moderado	
15 – 25	A ₄	A ₄₋₅	Reduzido	Reduzido
<15	A ₅		Muito reduzido	

Tabela 3.11 – Classificação da espessura das camadas proposta pela BGD (ISRM,1981)

Intervalos (cm)	Simbologia		Descrição	
>200	L ₁	L ₁₋₂	Muito elevado	Elevado
60 – 200	L ₂		Elevado	
20 – 60	L ₃		Moderado	
6 – 20	L ₄	L ₄₋₅	Reduzido	Reduzido
<6	L ₅		Muito reduzido	

Tabela 3.12 - Grau de meteorização do material rochoso (ISRM, 1981)

Estado de meteorização	Simbologia		Descrição	
Rocha sã	W ₁₋₂	W ₁	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa	Sã a pouco meteorizada
Rocha ligeiramente meteorizada		W ₂	Mudanças na cor original da matriz (descoloração)	
Rocha moderadamente meteorizada	W ₃		Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo	
Rocha muito meteorizada	W ₄₋₅	W ₄	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo; a rocha é muito friável.	Muito meteorizada a decomposta
Rocha completamente meteorizada a decomposta		W ₅	Todo o material rochoso está muito decomposto e/ou desagregado num solo residual	

3.3.2. Rock Quality Designation Index (RQD)

O índice RQD, é um parâmetro indicativo da qualidade do maciço rochoso *in situ* baseado no grau de fracturação e meteorização do material rochoso. Relativamente à implementação de estruturas de engenharia esta técnica tem na simplicidade a sua grande vantagem, permitindo a rápida delimitação de zonas rochosas de fraca qualidade. O procedimento é descrito em pormenor por Deere & Deere (1988), que recomendam a sua determinação a partir de tarolos recolhidos em sondagens orientadas. Com base neste índice Deere (1964) propõe a classificação apresentada na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Classificação de maciços rochosos com base no RQD (Deere, 1964)

RQD	Descrição
0 – 25%	Muito fraco
25 – 50%	Fraco
50 – 75%	Razoável
75 – 90%	Bom
90 – 100%	Excelente

Nas situações em que não está disponível o testemunho de uma sondagem Palmström (1995 *in* Cardoso *et al.*, 2010) sugeriu uma metodologia baseada na inventariação de superfícies de descontinuidade cujo traço é visível na face de um talude. Define-se assim a seguinte relação:

$$RQD = 115 - 3.3J_v \quad [3.4]$$

Priest & Hudson (1976) correlacionaram o RQD com a designada frequência de fracturação (λ), definida pelo número de descontinuidades por metro linear. Segundo diversos autores, de entre os quais se destacam Giani (1992), Hudson & Harrison (1997) e Vallejo *et al.*, (2002), o espaçamento total (S) corresponde ao inverso da frequência. O valor de RQD obtido é um equivalente teórico do índice original e pode ser obtido graficamente ou mediante quantificação de λ através da medição em tarolos ou da utilização da técnica de amostragem linear de superfícies de descontinuidade.

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda+1) \quad \text{tal que: } \lambda = \frac{1}{S} \quad [m^{-1}] \quad [3.5]$$

3.3.3. Geological Strength Index (GSI)

A implementação desta classificação geomecânica, proposta inicialmente por Hoek (1994 *in* Hoek *et al.*, 1998), resultou da cada vez maior necessidade de interagir com maciços rochosos de muito baixa resistência, onde o valor numérico de RQD é próximo de zero ou desprezável.

A utilização do GSI baseia-se na observação cuidadosa das características do maciço rochoso, nomeadamente a sua estrutura e condição das superfícies de descontinuidade, com destaque para a rugosidade e estado de meteorização. Estes parâmetros devem ser avaliados qualitativamente através do gráfico indicado na Figura 3.8, de forma a estimar um valor “numérico” para o índice GSI.

Inicialmente direccionada para maciços rochosos de baixa resistência litologicamente homogêneos, a classificação foi, entretanto, generalizada para maciços litologicamente heterogêneos, tipo *Flysch*, como se verifica na Figura 3.9 (Marinos & Hoek, 2001). Esta actualização foi baseada na experiência obtida pelos autores em projectos de obras subterrâneas realizadas sobre maciços rochosos muito heterogêneos e anisotrópicos, destacando-se os trabalhos executados sobre a Formação xistenta de Atenas (Hoek *et al.*, 1998)

A resistência ao corte do maciço rochoso é reduzida com a presença de água nas descontinuidades, ou quando se verifica migração da meteorização das superfícies de fraqueza estrutural para o material

rocha. O reconhecimento destas condições deverá ser materializado pelo desvio do GSI para a direita de forma a garantir a integridade da classificação. Apesar de se tratar de um parâmetro essencialmente qualitativo, o “número” referente ao GSI pode ser utilizado para estimar alguns parâmetros de resistência e deformabilidade do maciço rochoso com base em equações empíricas associadas ao critério de rotura de Hoek–Brown (Hoek & Brown, 1997; Hoek *et al.*, 2002).

A sua utilização pressupõe, contudo, que o maciço rochoso não sofra rotura segundo uma direcção preferencial imposta pela combinação de uma ou mais superfícies de descontinuidade (comportamento isotrópico). Nestas situações a utilização da classificação GSI não será aplicável dado que a rotura é governada pela resistência ao corte das descontinuidades e não do maciço rochoso (Marinos *et al.*, 2005). Contudo os mesmos autores admitem como classificáveis maciços rochosos densamente fracturados, porém com camadas espessas que, em taludes, podem sofrer rotura controlada estruturalmente. É o caso particular da classe A, ilustrada pelos autores no ábaco em que os mesmos estimam o GSI para maciços rochosos fortemente heterogéneos, tipo *Flysch* (Figura 3.9).


GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	60	50
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings

Figura 3.6 – Ábaco geral para estimativa do GSI (Hoek, *et al.*, 1998)

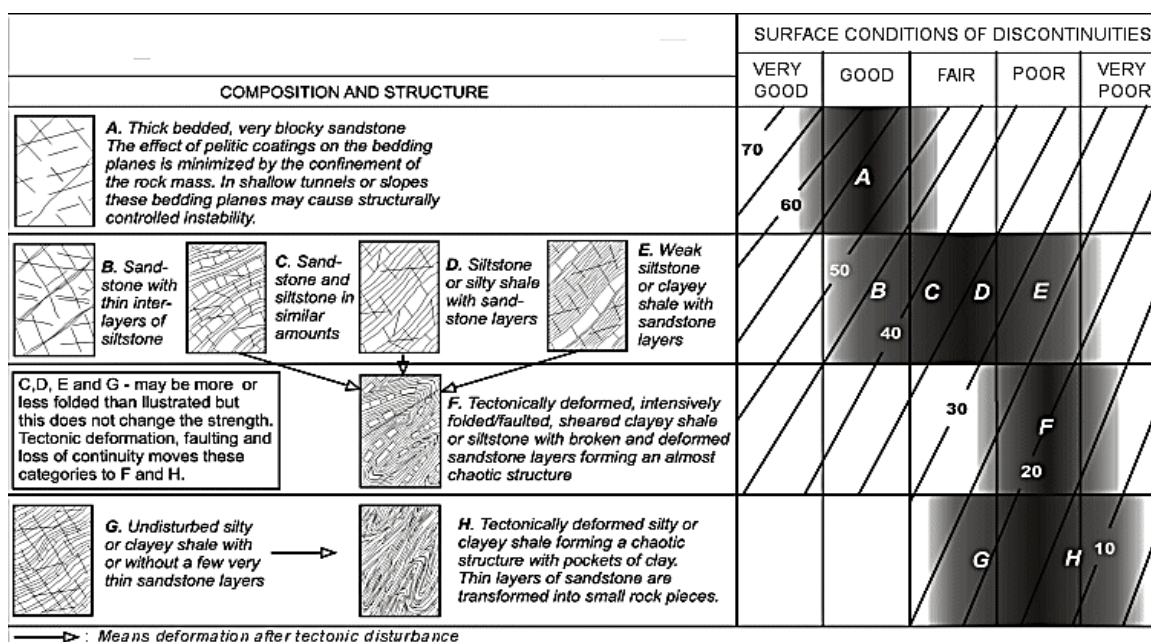


Figura 3.7 – Estimativa do GSI para maciços rochosos fortemente heterogêneos, tipo *Flysch* (Marinos & Hoek, 2001)

3.4. ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES ROCHOSOS

Actualmente a grande maioria das análises de estabilidade em taludes rochosos é baseada na observação dos modos de rotura no campo, seguidos do cálculo de estabilidade (no campo ou em laboratório). Esta metodologia é de algum modo subjectiva pois, frequentemente, as superfícies de rotura são de difícil identificação, especialmente no caso de densas coberturas vegetais ou quando o talude é afectado por diferentes tipos de movimentos, quer simultaneamente (movimentos complexos), quer sucessivamente. Acrescente-se que nestes últimos casos, é importante quantificar as parcelas individuais de cada tipo de movimento que contribuem para a estabilidade (ou instabilidade) global do talude. Neste contexto refira-se o grande número de técnicas possíveis de serem utilizadas, com grau de confiança variável, como as análises de equilíbrio limite e os mais recentes métodos de análise probabilística e modelação por elementos finitos. Estes últimos admitem uma medida da quantificação e modelação da variabilidade associada às propriedades das descontinuidades, aumentando o grau de confiança da análise (Park *et al.*, 2005).

Qualquer que seja o método utilizado, a precisão dos resultados produzidos pelas diferentes técnicas está intimamente relacionada com a qualidade dos dados recolhidos *in situ* e em laboratório, pelo que a sua utilização deve sempre ser objecto de ponderação cuidada anteriormente à validação da análise (Hoek, 2009).

A análise cinemática é uma ferramenta puramente geométrica, utilizada para estimar a possibilidade de ocorrência de diferentes mecanismos de rotura de um talude em maciço rochoso fissurado e heterogêneo (Eberhardt, 2003). A técnica baseia-se na análise das relações angulares entre os planos de descontinuidade e a face do talude em estudo com recurso a projecção estereográfica, sendo que a

utilização da maioria destes métodos é restrita a taludes de orientação constante (Yoon *et al.*, 2012). A distribuição e orientação da fracturação em relação ao talude desempenham um importante papel na avaliação da estabilidade, sendo que relações adversas entre estes parâmetros podem favorecer as condições geométricas necessárias à ocorrência de instabilizações (Gokceoglu *et al.* 1999).

No contexto das análises de estabilidade, o mecanismo de rotura pode ser definido como a descrição geométrica da superfície ao longo da qual se dá o movimento. Sem esquecer que é comum a ocorrência de combinações de diferentes modos de rotura em taludes rochosos, Hoek & Bray (1981) referem quatro mecanismos básicos que se apresentam em seguida:

ROTURA CIRCULAR: É típica em maciços rochosos que apresentem blocos unitários de pequenas dimensões relativamente ao talude, sendo mais comum em litologias brandas, fortemente meteorizadas ou fracturadas. Neste último caso o comportamento aproximadamente isotrópico é favorecido pela aleatoriedade da rede de fracturação. A superfície de rotura desenvolve-se normalmente a partir de fendas de tração que se podem observar na crista do talude, podendo igualmente desenvolver-se parcialmente ao longo de superfícies de descontinuidade.

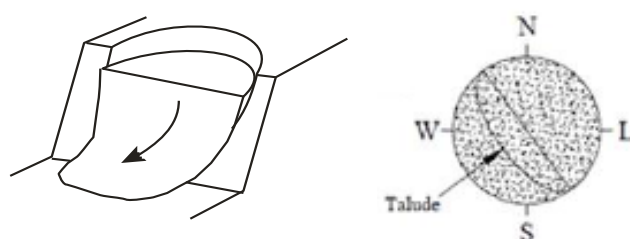


Figura 3.8 – Rotura circular e correspondente representação estereográfica (adaptado de Hoek & Bray, 1981).

ROTURA PLANAR: Este tipo de rotura ocorre ao longo de uma ou mais superfícies subparalelas entre si e, cujas inclinações se fazem para o exterior da face do talude, a pouca profundidade. Segundo Hoek & Bray (1981), a inclinação das superfícies ao longo das quais se dá o deslizamento deverá ser inferior ao ângulo de inclinação da face do talude, ser superior ao ângulo de atrito mobilizado, e ter uma direcção subparalela à face do talude, com uma diferença não superior a 20°. Estas condições, juntamente com a inexistência de confinamento lateral, permitem o deslizamento gravítico do(s) bloco(s) destacado(s), fenómeno que poderá ser auxiliado pelo efeito de forças de impulsão e acelerações sísmicas, sendo o volume de rocha deslocada ditado pela persistência das descontinuidades.

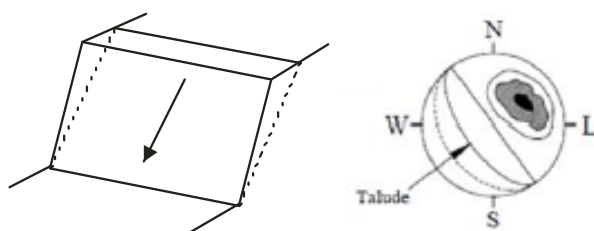
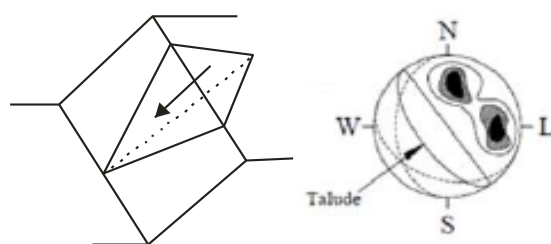


Figura 3.9 – Rotura planar e correspondente representação estereográfica (adaptado de Hoek & Bray, 1981)

ROTURA EM CUNHA: Implica a movimentação de um diedro de rocha ao longo de dois planos de descontinuidade de direcções divergentes, cuja linha de intersecção inclina para fora da face do talude. Como condicionante deste tipo de mecanismo, a linha de intersecção deve aflorar à superfície do talude e com um ângulo de inclinação superior ao ângulo de atrito das descontinuidades (Hoek e Bray, 1981). É comum em maciços rochosos com várias famílias de descontinuidades, cujas propriedades geométricas definem o volume das cunhas formadas.



ROTURA POR **Figura 3.10 – Rotura em cunha e correspondente representação estereográfica** delimitados
(adaptado de Hoek & Bray, 1981)
por descontinuidades subparalelas à crista do talude ou ao mergulho do maciço (desvio máximo de 30° entre ambas as direcções, segundo Goodman, 1989). O mergulho da principal família deve ser para o interior do maciço, sendo que o início do movimento se dá pelo deslizamento ao longo das superfícies de descontinuidade por impulso desde o interior do maciço.

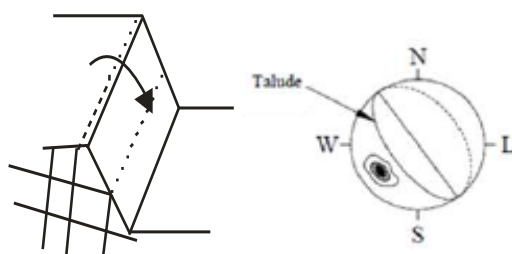


Figura 3.11 – Rotura por tombamento e correspondente representação estereográfica
(adaptado de Hoek & Bray, 1981)

É inicialmente feito um estudo estatístico das atitudes das descontinuidades medidas no campo, que podem ser representadas na rede estereográfica através de vectores ou polos. Neste último caso, um grande número de registos dá origem a “nuvens” mais ou menos dispersas de pontos, cada um dos quais representando o pólo de uma descontinuidade. A avaliação das famílias de planos é feita através de interpretação visual do estereograma, ou utilização curvas de densidade, que vão individualizar os conjuntos de pontos com orientação próxima (Hoek & Bray, 1981). Posteriormente, a cada conjunto/família é atribuído um valor considerado representativo que será utilizado no cálculo de estabilidade, sendo que para este efeito Borradaille (2003) sugere dois métodos: (1) Escolher o valor

do plano com maior densidade de representação; (2) Executar a média das direcções e inclinações dos planos utilizando equações sugeridas pelo autor.

A escolha deste valor constitui efectivamente uma das grandes limitações do método, pois a representatividade do mesmo está dependente do número, qualidade e dispersão dos pontos dentro de um mesmo conjunto. “Nuvens” com fraca dispersão aumentam a probabilidade de escolher um valor válido para o conjunto. Em “nuvens” altamente divergentes aquele valor é muito mais difícil de obter.

3.4.1. Teste de *Markland*

Inicialmente proposto por Markland (1972 *in* Yoon *et al.*, 2002) e refinado por Hocking (*in* Yoon *et al.*, *op. cit.*) e referido em Hoek & Bray (1981), este método de análise cinemática destina-se à avaliação da possibilidade de roturas planar e por cunha. A metodologia, descrita em pormenor por Hoek & Bray (*op. cit.*) e Yoon *et al.*, (*op. cit.*) consiste em fazer intersectar os planos de descontinuidade e o plano correspondente à orientação do talude com o cone de atrito que define o lugar geométrico de todos os planos com a inclinação correspondente ao ângulo de atrito adoptado tendo em conta as propriedades das descontinuidades. São assim geradas áreas (representadas a sombreado nas figuras resultantes) que proporcionam a visualização do potencial de instabilidade conforme o (s) tipo (s) de rotura (s) envolvido (s).

3.4.2. Avaliação da rotura por tombamento

A avaliação cinemática da rotura por tombamento foi inicialmente proposta e descrita por Goodman & Bray (1976 *in* Maurenbrecher & Hack, 2007) e refinada posteriormente por Goodman (1989). Apesar de obedecer a critérios geométricos distintos que têm a ver com um mecanismo muito diferente o princípio, que está descrito em pormenor em Goodman (*op.cit.*) e Kliche (1999), é semelhante ao anterior, procedendo-se à combinação geométrica dos planos interessados com o cone de atrito adotado.

A consulta de diversa bibliografia especializada, nomeadamente Hoek & Bray (1981), Goodman (*op.cit.*) e Kliche (*op.cit.*) permitiu a elaboração da Tabela 3.14, que resume as condições geométricas e mecânicas requeridas para a ocorrência dos diferentes mecanismos de rotura em taludes rochosos.

Tabela 3.14 – Condições geométricas e mecânicas para os diferentes tipos de rotura. α_t – direcção do talude, α_p – direcção do plano de rotura, α_d - direcção de família de planos de descontinuidade fortemente inclinada para o interior do talude, ψ - inclinação do plano de rotura, ψ_t - inclinação do talude, ψ_i - inclinação da linha de intersecção de duas superfícies de rotura (que intersectam a crista do talude), ϕ - ângulo de atrito entre as superfícies

Mecanismos de rotura	Condições
Rotura planar	$\left. \begin{array}{l} 1. \alpha_t - \alpha_p \leq 20^\circ \\ 2. \psi_p < \psi_t \\ 3. \psi_i > \phi \end{array} \right\} \psi_t > \psi_p > \phi$
Rotura em cunha	$\left. \begin{array}{l} 1. \psi_i < \psi_t \\ 2. \psi_i > \psi_p \end{array} \right\} \psi_t > \psi_i > \phi$
Rotura por tombamento	$\begin{array}{l} 1. \alpha_t - \alpha_d \leq 30^\circ \\ 2. (90 - \psi_p) + \phi < \psi_t \end{array}$

4. ENQUADRAMENTO DA ZONA DE ESTUDO: TRECHO SINES – ZAMBUJEIRA DO MAR

4.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A área de estudo seleccionada para estudo da problemática em análise corresponde à frente costeira entre a zona norte de Porto Covo e as praias a sul da Zambujeira do Mar, numa extensão aproximada de 75 km (Figura 5.1). Esta frente costeira, maioritariamente dominada por arribas rochosas, é parte integrante da área classificada do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina e abrange as freguesias de Zambujeira do Mar, S. Teotónio, Longueira/Almograve, Vila Nova de Milfontes e Porto Covo, dos Concelhos de Sines e Odemira.

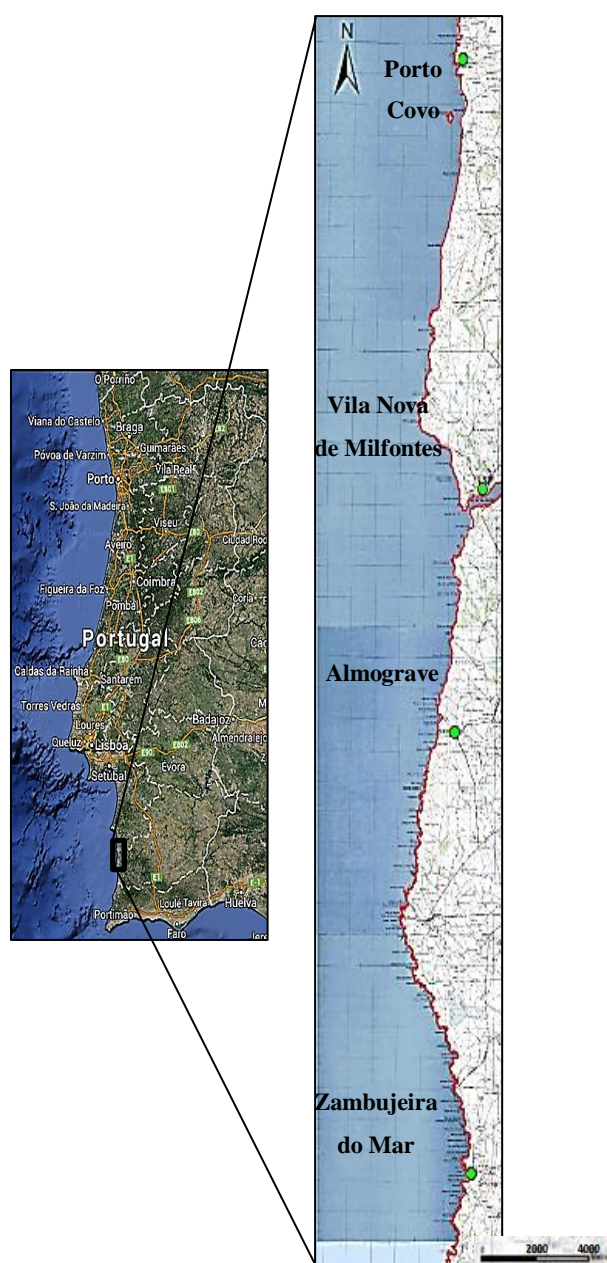


Figura 4.1 – Localização geográfica e delimitação da faixa costeira avaliada neste estudo (a vermelho)

4.2. ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO

Do ponto de vista geomorfológico o território continental Português apresenta poucos relevos acentuados, predominando as áreas de baixa altitude. Mais de 70% da área do país atinge altitudes inferiores a 400 m, sendo que relevos de altitude superior a 700 m constituem apenas 12% da mesma (Ferreira, 2000).

O sector meridional do território nacional caracteriza-se por relevos aplanados de cotas pouco elevadas com destaque para a grande peneplanície do Baixo Alentejo. Pontualmente ocorrem alguns relevos mais acentuados que são, no entanto, pouco abundantes e espaçados, como são exemplo as serras de Grândola e Cercal. Estas estruturas positivas correspondem a levantamentos monoclinais para oeste, definindo um maciço alongado na direcção N-S com cerca de 60 km de extensão e marginando a planície litoral ocidental (Feio, 1984), onde está localizada a área de estudo.

Localizada na zona litoral do sudoeste de Portugal, esta terceira unidade geomorfológica corresponde a uma superfície aplanada, de altitude média de cerca de 100 m e parcialmente modelada pela acção marinha. É uma faixa estreita cuja largura varia entre 3 km na zona de Odeceixe e 8 km à latitude do Cabo Sardão (Costa, 2009), limitada a oriente pelo primeiro alinhamento de acidentes tectónicos, quer positivos, quer negativos.

Entre Sines e Odeceixe a faixa apresenta notável continuidade, sendo interrompida apenas pelo encaixe dos principais cursos de água. Muitas vezes o limite oriental está bem definido, como por exemplo em frente de S. Teotónio onde a superfície termina de forma abrupta, no pé da escarpa de falha que marca a passagem para as serras litorais de Grândola e Cercal. Noutras ocasiões, como em Odemira e Vila do Bispo, a transição é suave e muitas vezes imperceptível, para uma superfície modelada pela erosão que se estende para o interior.

A planície encontra-se talhada em rochas paleozóicas, especialmente xistos e grauvaques do Grupo do *Flysh* do Baixo Alentejo (GFBA), recoberta por depósitos detríticos normalmente homogéneos (areias finas, por vezes com seixos bem rolados), que raramente atingem os 20 m de possança, testemunhando uma plataforma de abrasão marinha do Pliocénico. A sua evolução morfológica terá estado associada a várias fases de aplanção no Cenozóico e Quaternário, representadas por um conjunto de depósitos alternadamente continentais e marinhos (Feio, 1952). Na orla costeira distinguem-se duas zonas de diferentes características fisiográficas, claramente separadas pelo Cabo de Sines, que constitui um local de transição na morfologia litoral. Para norte desenvolvem-se longos troços de praia de areias limpas, limitadas por um grande conjunto de sistemas dunares e lagunas costeiras. Pelo contrário, a orla costeira a sul do Cabo de Sines é recortada maioritariamente por arribas talhadas nas formações xisto-grauváquicas paleozóicas.

Estas arribas, cujo comando tende a aumentar para sul (80 – 100 m na região de Aljezur), bordejam por vezes pequenas praias, sendo intercaladas por areais relativamente extensos e limitadas por

sistemas de dunas, e por vezes arribas fósseis recuadas. Neste último trecho, a evolução costeira é mais lenta do que nos restantes sectores, pois as formações turbidíticas são consideravelmente mais resistentes que as areias plio-quaternárias que conformam o litoral para norte de Sines (Direcção Regional do Ambiente do Alentejo - DRAA, 1998). Como refere Costa (2009) verifica-se que, ao longo da plataforma litoral, a taxa de recuo das arribas depende fortemente das características litológicas e estruturais do maciço rochoso ocorrente.

A dinâmica costeira que se observa a sul de Sines é muito influenciada pela ondulação, que geralmente é de NW/WNW e com amplitudes de 1 - 2 m. No Outono e Inverno é frequente a existência de ondulação de W e SW, com vagas superiores a 4 m (Bastos, *et al.*, 2012). Entre Sines e a Zambujeira do Mar, o traçado da costa apresenta segmentos arqueados separados por promontórios salientes que correspondem a relevos rochosos com grande resistência à erosão costeira (*e.g.* Cabo de Sines e Cabo Sardão), que levam à difracção das correntes oceânicas de orientação N-S. As zonas a sul destes relevos tornam-se assim locais preferenciais de deposição, devido ao menor desassoreamento como é o caso de S. Torpes (DRAA, 1998). Ao longo da costa podem também ser observados relevos irregulares no prolongamento das arribas que, por vezes, o rápido avanço do mar reduz a ilhéus emersos (*e.g.* Ponta da Arrifana) (Feio, 1952).

Para sul de Porto Covo as arribas exibem características naturais bem conservadas, pouco afectadas pelo encaixe da rede hidrográfica local, observando-se localmente pequenas praias muito encaixadas.

As arribas têm perfil jovem e assumem inclinação quase vertical, promovendo fenómenos de instabilização que se traduzem em desmoronamentos pontuais. A erosão marinha é bastante acentuada na base das arribas, principalmente devido à intensa ondulação, definindo uma plataforma de abrasão que muitas vezes se encontra nua. A erosão subaérea é motivada essencialmente pela precipitação e escorrência superficial e, em conjunto com a acção marinha, assume um importante papel no recuo gradual da linha de costa. A presença de inúmeras fracturas nos maciços contribui para a diminuição da sua resistência, auxiliando os processos erosivos sendo que, por vezes, se observam relevos salientes na presença de fracturas preenchidas por filonetes quartzíticos, como se verifica por exemplo na praia do Almogrove.

Os depósitos de duna consolidada, comuns a todo o litoral ocidental, desde Sines até ao Cabo de S. Vicente, descem frequentemente até abaixo do nível do mar, formando ilhéus próximos da costa (*e.g.* arenitos dunares da ilha do Pessegueiro ao largo de Porto Covo). As praias de dimensão considerável são poucas e encontram-se associadas às embocaduras dos principais cursos de água da região, como é o caso dos cordões dunares da praia das Furnas que estão associados à embocadura do rio Mira (DRAA, 1998).

De acordo com Marques (1997) as arribas talhadas nas formações do Carbonífero marinho do litoral alentejano apresentam taxas de recuo entre 0,003 m/ano e 0,007 m/ano. Esta ordem de grandeza atesta

a grande resistência destas formações aos agentes da geodinâmica costeira no que respeita à evolução global da linha de costa, contudo eventuais instabilizações com carácter localizado deverão ser consideradas.

4.3. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

4.3.1. Maciço Ibérico (MI)

O Maciço Ibérico (Figura 4.2) corresponde ao troço mais ocidental da Cadeia Varisca europeia, de orientação geral NW-SE com a qual se relaciona através do designado Arco Ibero-Armoricano (Ribeiro, 2013). Este extenso afloramento de formações pré-câmblicas e paleozóicas ocupa grande parte da metade ocidental da Península Ibérica e cerca de dois terços do território continental português (Ribeiro *et al.*, 1990; Estêvão, 2010).

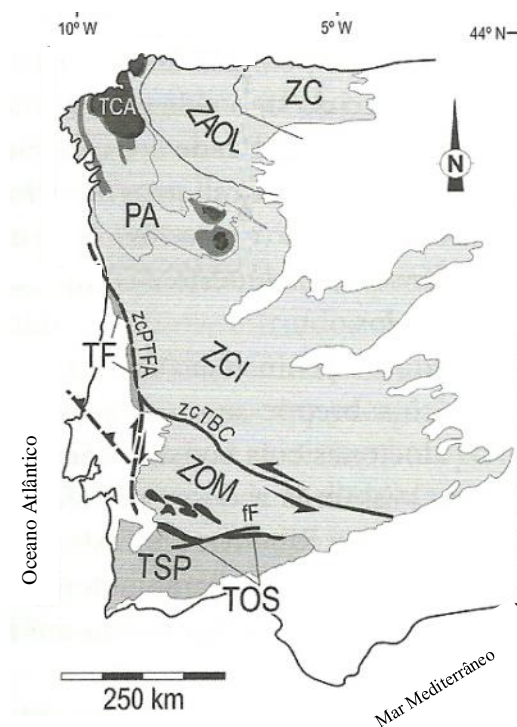


Figura 4.2 – Terrenos e Zonas do Maciço Ibérico. Terreno Ibérico: ZC – Zona Cantábrica; ZAOL – Zona Astur-occidental Leonesa; ZCI – Zona Centro-Ibérica; ZOM – Zona Ossa-Morena; TSP – Terreno Sul Português; Terrenos Exóticos: PA – Complexo Parautoctone; TCA – Terreno Continental Alóctone; TOS – Terreno Ofiolítico do SW Ibérico; TF – Terreno Finisterra; zcPTFA – zona de cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo; zcTBC – zona de cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdova; ff – falha de Ficalho. (adaptado de Ribeiro, 2013)

Actualmente na divisão do MI são consideradas duas séries de unidades, de 1ª ordem e de 2ª ordem respectivamente (Ribeiro & Sanderson, 1996, Vera, 2004 & Ribeiro *et al.*, 2007 in Ribeiro, 2013). As unidades de 1ª ordem, designadas por “Terrenos”, apresentam semelhante evolução geodinâmica e são separadas pelos acidentes tectónicos que representam as principais linhas de sutura (Coney *et al.*, 1980

in Pedro, 2004). As unidades de 2ª ordem, designadas por “Zonas”, definem unidades diferenciadas por critérios estratigráficos, magmáticos, metamórficos e morfoestruturais.

4.3.2. Zona Sul Portuguesa (ZSP)

A Zona Sul Portuguesa (ZSP) é a unidade tectono-paleogeográfica no limite sul do MI. Apresenta notável homogeneidade litológica, sendo quase exclusivamente constituída por materiais sedimentares de idade Devónico superior-Carbonífero superior (Pereira *et al.*, 2007). A zona de sutura entre o Terreno Ibérico (TI) e a ZSP é materializada pelos terrenos do complexo ofiolítico de Beja-Acebuches (COBA), que correspondem a uma estreita faixa metamórfica, estendendo-se desde a região de Ferreira do Alentejo até Aracena (Pedro *et al.*, 2005). A divisão da ZSP (Figura 4.3) é feita considerando quatro principais domínios, designadamente Pulo do Lobo, Faixa Piritosa, Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (GFBA) e Sector Sudoeste (Oliveira *et al.*, 2013). Neste contexto serão apenas descritos os domínios cujas litologias modelam as arribas na área de estudo: O GFBA e o subsector Cercal-Mira.

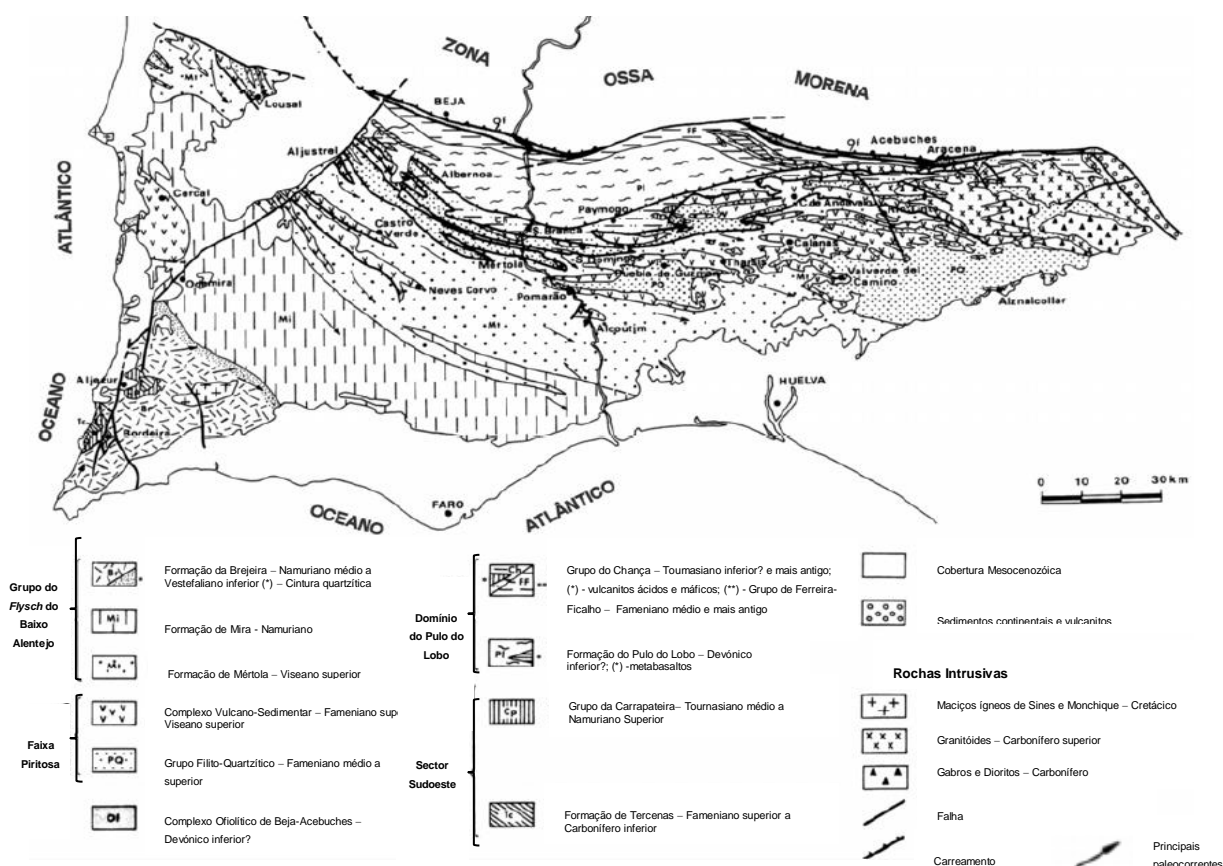


Figura 4.3 – Mapa geológico da Zona Sul Portuguesa (adaptado de Oliveira, 1990)

4.3.3. Grupo do *Flysch* do Baixo Alentejo (GFBA)

A área de estudo integra na sua maioria as formações do GFBA (Grupo do *Flysch* do Baixo Alentejo), que constitui um dos domínios da Zona Sul Portuguesa. As formações do GFBA definem uma extensa sucessão de sedimentos turbidíticos profundos progradantes para SW, de possança superior a 5 km. A sequência inclui bancadas centimétricas a métricas de grauvaques intercaladas com níveis de xistos argilosos e siltitos finamente estratificados, podendo encontrar-se níveis conglomeráticos (Oliveira *et al.*, 2013). A génese do GFBA está relacionada com deposição em ambiente marinho, em bacia de sedimentação do tipo geossinclinal formada sobre a margem continental a SW da sutura Varisca entre o Terreno Ibérico e o Terreno Sul Português. Estes sedimentos terão sido transportados ao longo de consideráveis distâncias por correntes turbidíticas originadas por escorregamentos submarinos e submetidos a metamorfismo regional, adquirindo características típicas de *Flysch*. (Pinho, 2003). O GFBA integra, da base para o topo, as Formações de Mértola, Mira e Brejeira, (Oliveira, 1984; Oliveira *et al.*, 2013). Na área de estudo afloram litologias pertencentes às duas últimas.

4.3.3.1. Formação de Mira (H_{Mi})

O registo fossilífero da Formação de Mira, que ocupa uma vasta área entre Santiago do Cacém a NE e Azinhal a SW, sugere idades compreendidas entre o Serpukoviano inferior – Bashkiriano inferior (Oliveira *et al.*, 2013). É composta por sequências turbidíticas finamente estratificadas (Figura 4.4), por vezes com predominância de bancadas de grauvaque e raros níveis conglomeráticos. Os turbiditos exibem baixa relação areia/argila, particularmente evidente ao longo de uma faixa entre Santiago do Cacém e São Barnabé. Para norte, na direcção do contacto com a Formação de Mértola os turbiditos apresentam-se mais grosseiros e em bancadas espessas. Para sul, na direcção do contacto com a Formação da Brejeira, nota-se a mesma tendência, ainda que menos evidente (Oliveira, 1984). Esta formação aflora na faixa litoral desde Vila Nova de Milfontes até ao extremo norte do Cabo Sardão.

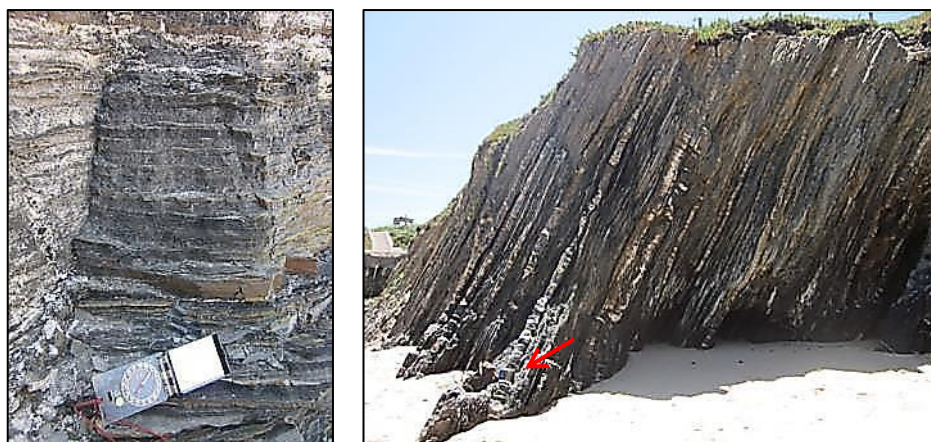


Figura 4.4 – Formação de Mira: À esquerda: Fina estratificação das litologias mais pelíticas (praia das Furnas); À direita: Arriba talhada em alternâncias de xistos negros e grauvaques (praia do Almogrove). Escala: Fita métrica fechada. Refere-se que a seta vermelha indica a respectiva escala. Esta consideração é válida para todas as figuras em que a escala é pouco visível

4.3.3.2. Formação da Brejeira (H_{br})

Os afloramentos da Formação da Brejeira ocupam uma extensa área entre o Cabo Sardão, Vila do Bispo e São Bartolomeu de Messines. A sequência inclui uma sucessão intercalada de quartzitos impuros, quartzovaques e xistos argilosos com relação areia/argila relativamente elevada, ao longo de uma faixa de 5 a 10 km de largura entre o Cabo Sardão e São Bartolomeu de Messines que estabelece o contacto com a Formação de Mira. Sobrejacente a estas litologias encontra-se uma sequência turbidítica clássica prolongando-se para SW, até ao contacto com a Orla Meso-Cenozóica do Algarve. Estes turbiditos tendem a ser gradualmente mais grauvacóides para SW, com aumento da relação areia/argila (Oliveira, 1984). O registo fóssilífero da Formação da Brejeira possibilitou a sua datação entre o Bashkiriano inferior e o Moscoviano superior (Pereira *et al.*, 2007). As arribas para sul do Cabo Sardão até à Zambujeira do Mar (Figura 4.5) são quase na sua totalidade modeladas nesta unidade, que aflora igualmente numa faixa litoral desde a metade sul da praia do Malhão até a norte de Vila Nova de Milfontes.



Figura 4.5 – Formação da Brejeira: À esquerda: Alternância de xistos e grauvaques basculantes para NE (Cabo Sardão) Escala: Capelinha; À direita: Pormenor das mesmas litologias afectadas pela meteorização (praia da Zambujeira do Mar)

4.3.4. Subsector Cercal-Mira

Considerado por Oliveira (1984) como um dos principais domínios da ZSP, este subsector é actualmente definido como parte integrante do designado Complexo Vulcano-Sedimentar, associado ao ramo meridional da Faixa Piritosa Ibérica. Corresponde a uma estrutura em anticlinal de idade Devónico superior – Serpukoviano, de litologia bastante variada, sendo que a sua estrutura e sucessão estratigráfica permanecem mal conhecidas (Oliveira *et al.*, 2013).

Na zona de Porto Covo as arribas estão talhadas nas litologias da Formação de São Luís (Figura 4.6, à esquerda), que aflora descontinuamente ao longo de uma faixa entre S. Torpes e a praia do Malhão. Esta sucessão constitui o núcleo do anticlinal e engloba litologias predominantemente xistentas (xistos argilosos, siliciosos e filitos) e riolíticas (tufitos e *lapilli*), com intercalações centimétricas de rochas carbonatadas para o seu topo. Associados a esta formação ocorrem localmente alguns afloramentos de

vulcanitos ácidos (Oliveira *et al.*, *op. cit.*) que, entre outros locais, podem ser observados na praia dos Buizinhos em Porto Covo (Figura 4.6, à direita).



Figura 4.6 – Subsector Cercal-Mira. À esquerda: Xistos siliciosos da formação de S. Luís (plataforma de abrasão na praia do Forte do Pessegueiro) Escala: Martelo de geólogo; À direita: Intrusão filoniana ácida (praia dos Buizinhos) Escala: Garrafa de água de 1,5 litros

4.3.5. Terrenos pós-paleozóicos

Sobre as rochas do Maciço Antigo assentam manchas de depósitos meso-cenozóicos comuns a todo o litoral ocidental (Figura 4.7). O Mesozóico está representado por filões de rochas ígneas básicas (entre elas gabros, sienitos, dioritos e doleritos), observáveis principalmente na zona do Malhão e associados à instalação do maciço eruptivo de Sines. (Costa, 2009).

Os depósitos plio-pleistocénicos apresentam litologia bastante variável, integrando argilas, areias, arenitos, margas e cascalhos, que se encontram muito bem conservados entre S. Torpes e Odeceixe (Estêvão, 2010). Por outro lado, a sua espessura apresenta uma tendência claramente decrescente de norte para sul, com ordem métrica em S. Torpes, até possanças centimétricas no cabo de São Vicente. A faixa entre S.Torpes e o Malhão é a mais rica em acumulações plio-pleistocénicas, tanto em largura como em espessura (Ramos Pereira, 1987). Estas acumulações arenosas podem formar ilhas, modelar arribas mais ou menos friáveis e gerar campos dunares que em certos casos se situam na superfície da planície litoral, e noutros se estendem ao longo das actuais praias, fossilizando antigas arribas (Zbyszewski, 1958 *in* Costa, 2009).

O Quaternário é representado por areias de duna, aluviões, terraços fluviais e areias de praia que formam alinhamentos ao longo do litoral, a partir do Cabo de Sines. Estes depósitos são constituídos por cascalheiras e cordões dunares de areias brancas, amareladas e alaranjadas. As aluviões encontram-se associadas às principais linhas de água, assim como os terraços fluviais. (Zbyszewski & Pais, 1993). No sector S. Torpes – Zambujeira do Mar, onde está inserida a área de estudo, Ramos Pereira, 1987) identifica a sucessão estratigráfica dos depósitos sedimentares cenozóicos, de onde se destacam:

Formação Vermelha: Constituída por arenitos de grão quartzoso com matriz de cimento ferruginoso, devido à presença de óxidos de ferro, que lhe dá uma cor avermelhada. Esta formação recobre toda a plataforma litoral, desde o sopé da serra do Cercal até à linha de costa, e pode ser observada no sector do Pessegueiro.

Formação de Aivados–Bugalheira: Arenito de génese marinha pouco compacto e amarelado, constituído por areia bem rolada, com restos de conchas e leitos de minerais. Aflora preferencialmente entre o Pessegueiro e a Lapa das Pombas.

Arenito dunar de Malhão: Arenito com elevada compacidade e tendência para a carsificação, em função do elevado teor de carbonato de cálcio presente na sua composição. A sua resistência é elevada em comparação com as camadas subjacentes, pelo que forma frequentemente consolas de grande balanço nas arribas que, posteriormente, sofrem rotura individualizando blocos de grandes dimensões. Este fenómeno é particularmente responsável pela evolução geomorfológica das arribas do sector Ilha do Pessegueiro – Praia do Malhão (Figura 4.8).

Dunas recentes (não consolidadas): Campo dunar constituído por areias eólicas móveis, associadas às zonas de maior exposição aos ventos. Afloram desde S.Torpes até ao Cabo de S. Vicente.

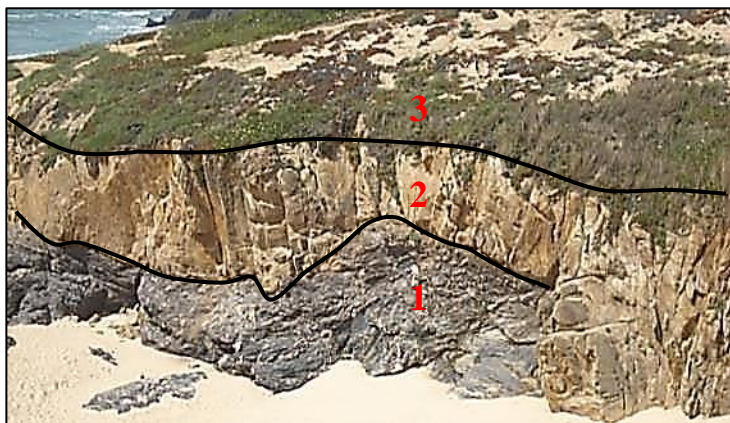


Figura 4.7 – Arriba de 8 m de altura talhada em diferentes litologias (1 – Turbiditos da HBr; 2 – Filão-camada mesozóico; 3 – Dunas quaternárias actuais. (Praia do Malhão)



Figura 4.8 – Arriba talhada em depósitos plio-pleistocénicos na praia da do Forte do Pessegueiro: 1 – Formação Vermelha; 2 – Formação de Aivados – Bugalheira; 3 – Arenito dunar do Malhão

4.4. TECTÓNICA

Do ponto de vista estrutural, a ZSP corresponde a uma complexa faixa de carreamentos e dobramentos imbricados com vergência NE-SW (Oliveira, 1990; Silva *et al.*, 2013; Dias & Basile, 2013). As famílias de fracturas apresentam orientação NW-SE e NE-SW, observando-se também outro sistema de fracturas de orientação N-S o qual poderá constituir um sistema mais antigo, tardi-hercínico (Pinho, 2003).

Algumas das estruturas tectónicas mais antigas observadas nas formações do GFBA são os corredores de cisalhamento (esquerdo e direito) de orientação geral NE-SW evidenciados por veios de quartzo exsudados em *echelon*. Estas estruturas, de 1ª ordem de deformação, são por vezes bem visíveis na plataforma de abrasão marinha em alguns locais, como por exemplo na Lapa das Pombas, em Almogrove, onde se observam igualmente estruturas em “tablete de chocolate” (Figura 4.9, à esquerda). Numa segunda fase de deformação, as estruturas de 1ª ordem terão sofrido dobramento e rotação devido à sua incapacidade de continuar a absorver o encurtamento, dando origem a dobras de eixo sub-horizontal e orientação NNW-SSE. As dobras exibem formas muito variadas, devido em grande parte à alternância entre materiais mais e menos competentes, típica do *Flysch*. (Dias & Basile, 2013) (Figura 4.9, à direita).

A evolução morfo-estrutural da faixa entre Sines e Porto Covo terá sido condicionada pelas falhas de Santo André, Santa Cruz, Grândola e pelo alinhamento Sintra-Sines-Monchique, verificando-se uma tectónica maioritariamente frágil, de características distensivas. Nesta zona é comum o aparecimento de fracturas de direcção dominante NW-SE. Para sul de Porto Covo a fracturação apresenta também orientação predominante NW-SE, observando-se os sistemas conjugados NE-SW para sul de Vila Nova de Milfontes e ENE-WSW na zona da falha de Messejana. Observa-se ainda a existência de uma fracturação orientada de N40°W que afecta toda a cobertura pós-mesozóica.



Figura 4.9 – Comportamento frágil e dútil das litologias face à deformação. À esquerda: Fendas de tracção subperpendiculares preenchidas por quartzo de exsudação - estrutura em “tablete de chocolate” (praia do Almogrove) Escala: Prancheta. À direita: Zona de charneira de um sinforma (praia das Furnas)

O comando que as arribas adquirem na área de estudo, bem como a presença de terraços fluviais e rede hidrográfica profundamente encaixada, testemunham o levantamento neotectónico que o bloco continental terá sofrido desde finais do Pliocénico (Cabral, 2012).

4.5. SISMICIDADE

O território continental Português está inserido na subplaca Ibérica, que representa a secção mais ocidental da placa Euroasiática, e relativamente próximo da fractura Açores-Gibraltar, que constitui o limite entre esta última e a placa Africana. No contexto da tectónica de placas, a localização periférica do território continental português relativamente aos cratões e plataformas estáveis do nordeste europeu e a proximidade de um contacto interplaca favorecem a ocorrência de actividade sísmica intra e interplaca, esta última responsável pelos maiores sismos que atingiram o território continental.

A sismicidade em Portugal continental pode ser considerada como moderada, com predominância de eventos sísmicos de magnitude baixa. A ocorrência de eventos de média/grande envergadura é pouco frequente mas encontra-se documentada pelos registos históricos (Borges *et al.*, 2001). A área de estudo está inserida numa zona de sismicidade relativamente elevada, grau IX (Figura 4.10 à esquerda).

O litoral sudoeste tem sido afectado por uma importante sismicidade instrumental tanto com origem interplaca como intraplaca (Figura 4.10 à direita). A distribuição da sismicidade ao longo do território continental é bastante heterogénea e encontra-se genericamente concentrada em dois domínios: (1) Região sul do território continental, observando-se uma grande concentração epicentral nas regiões de Vale do Tejo, Évora e Loulé; (2) Margem atlântica adjacente, caracterizada por intensa actividade sísmica, função da interacção entre as placas Euroasiática e Africana.

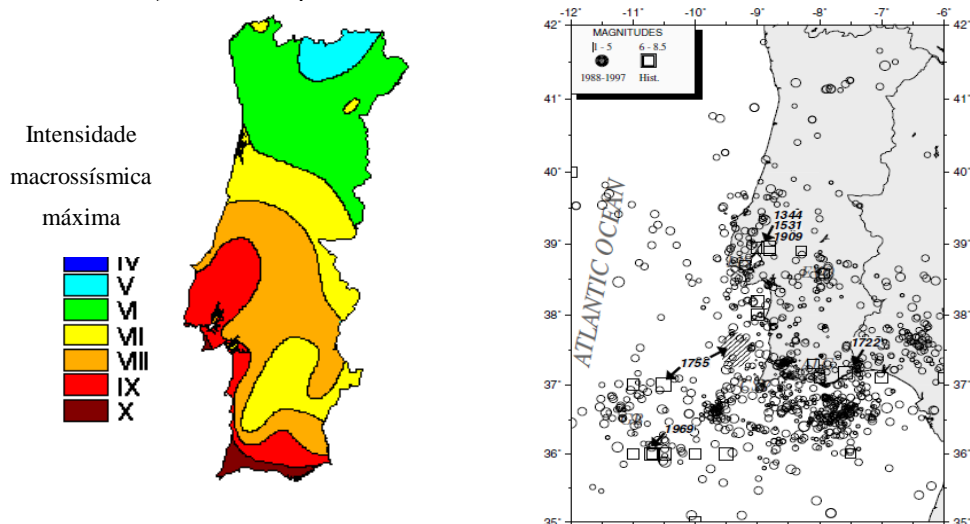


Figura 4.10 – À esquerda: Carta de intensidades macrossísmicas máximas em Portugal continental¹. À direita: Sismicidade instrumental (1988-1997) e epicentro dos sismos mais importantes (Borges *et al.*, (2001)

¹ Fonte: <http://www.meteo.pt/sismologia/sismologia.html>

Observa-se uma grande concentração de epicentros para SW do Cabo de São Vicente numa faixa que se estende desde o Banco de Gorringe, a oeste, até ao Estreito de Gibraltar, a este. É ao longo desta faixa que se verifica grande parte dos eventos sísmicos de elevada magnitude, causadores de impactos humanos e materiais significativos (Autoridade Nacional de Protecção Civil - ANPC, 2010). De acordo com esta entidade, a área de estudo está inserida na designada área sismogénica “M”, que compreende a falha Pereira de Sousa, sismologicamente activa, a sul. Neste contexto refere-se o sismo de 1858 com epicentro entre Setúbal e Sines, que constitui um dos eventos mais significativos que terá ocorrido em território continental estável (Johnston & Kanter, 1990).

4.6. CLIMA

Ao contrário do litoral a norte do cabo da Roca, a área de estudo apresenta-se pouco permeável às massas de ar fresco de NW, devido à protecção fornecida pelos relevos das serras de Sintra e Arrábida. Esta situação promove a continentalização do clima que apresenta forte amplitude térmica diária (Daveau, 1997). O clima pode assim considerar-se pré-mediterrânico com forte influência atlântica, caracterizado por Verões relativamente frescos e Invernos muito suaves.

De acordo com o Plano de Gestão da Região Hidrográfica 6 (PGRH6) (ARH-Alentejo I.P., 2012), a temperatura média anual ponderada oscila entre 10,2°C em Dezembro e 22,5°C em Agosto, aumentando tendencialmente à medida que se progride para sul.) Esporadicamente registam-se temperaturas superiores a 35°C nos meses mais quentes e inferiores a 5° C. nos meses mais frios, sendo que na região de Sines, entre 1941 e 1991 se terão registado temperaturas de 37,1°C em Julho e 0,5°C em Dezembro e Janeiro (Bastos *et al.*, 2012).

Na área de estudo, segundo dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), entre 2000 e 2008, os valores médios anuais de precipitação anual variaram entre 128,9 e 683,7 mm, ocorrendo máxima precipitação nos meses de Novembro e Dezembro. Acrescente-se ainda que, de acordo com o PGRH6, o semestre húmido (Outubro a Março) totaliza 86% da precipitação média anual. Em anos excepcionalmente secos, a precipitação média anual pode variar entre 0 e 400 mm. No entanto, em anos de muita pluviosidade estes valores sobem para 700 – 1400 mm.

A precipitação é normalmente do tipo torrencial, verificando-se uma menor incidência para sul da embocadura do rio Mira (Bastos *et al.*, 2012). As marés são do tipo semidiurno, com amplitudes máximas de cerca de 3 m (em regime de marés vivas), e mínimas de cerca de 1,5 m (regime de marés mortas), tendo as correntes oceânicas uma direcção de aproximadamente N-S (DRAA, 1998).

Os ventos dominantes são de N e NW com velocidades entre 4,2 km/h e 15,7 km/h ao longo do ano. Por vezes registam-se ventos de SW, especialmente nas estações mais frias, verificando-se também a baixa incidência dos ventos de levante. Durante o Verão os ventos são frequentemente muito húmidos, contribuindo para os altos valores de humidade verificados durante o estio (Instituto de Conservação da Natureza - ICN, 2006).

4.7. HIDROLOGIA

Em termos hidrológicos a área de estudo é dominada pela bacia hidrográfica do Rio Mira. Este curso de água desenvolve-se por 130 km desde a serra do Caldeirão, até junto a Vila Nova de Milfontes onde desagua no oceano Atlântico (Figura 4.11). É com base na bacia hidrográfica do seu troço final (184 km²), correspondente aos cursos de água sobre a plataforma litoral, que se desenvolve grande parte da rede hidrográfica da área de estudo, para sul de Vila Nova de Milfontes. Das bacias hidrográficas secundárias referentes aos numerosos afluentes do rio Mira, destacam-se as associadas às ribeiras de Vale de Gomes (64,3km²), São Teotónio (44,1km²) e Barranco da Brejeira (39,6 km²) na sua margem esquerda (Instituto de Conservação da Natureza e Biodiversidade - ICNB, 2008).

Ao longo do litoral SW a generalidade dos cursos de água de maior relevância, como são exemplo o rio Mira e a ribeira de Seixe, terminam em vales amplos e beneficiam de regime permanente (ICN, 2006). Pelo contrário, as pequenas linhas de água de drenagem litoral são de regime temporário, promovendo o escoamento apenas durante a época das chuvas e mantendo-se secas durante o Verão (Chambel, 1999 *in* Pinho, 2003).



Figura 4.11 – Embocadura do rio Mira e sistemas dunares associados

As características geológicas e topográficas da área de estudo favorecem uma diminuição do risco de erosão fluvial, que é mais significativo nas zonas declivosas a montante. Nestes locais os problemas estão associados à deposição dos sedimentos erodidos e transportados de montante que conduzem ao assoreamento dos leitos das linhas de água e albufeiras de jusante, fenómeno auxiliado pela má

drenagem dos solos, períodos de pluviosidade torrencial e ausência de coberto vegetal nas zonas mais declivosas. A expansão das zonas urbanizadas, ocupando frequentemente locais de leito e modificando o traçado natural das linhas de água pode potenciar o agravamento da situação referida (ICNB, 2008).

4.8. HIDROGEOLOGIA

No que respeita aos concelhos de Sines e Odemira, as massas de água subterrânea constituem uma importante fonte de água para o abastecimento público, rega, indústria e consumo privado.

Na área de estudo, as formações aquíferas dominantes estão integradas no aquífero poroso desenvolvido nas formações miocénicas e plio-quadernárias que constitui a parte superior do complexo aquífero de Sines (Lavaredas & Silva, 1998).

Entre Sines e Porto Covo, os depósitos plio-quadernários constituem aquíferos freáticos de reduzida espessura limitados às baixas aluvionares associadas às principais linhas de água. Este sistema apresenta assim uma relação hidráulica directa com a rede hidrográfica nos locais onde ambos se intersectam, e indirecta através das aluviões sobrejacentes. As captações geralmente não ultrapassam 50 m com caudais de extracção da ordem de 5 l/s. (Costa, 1993).

Para sul de Vila Nova de Milfontes é notória a influência da rede hidrográfica do Mira, que estabelece uma relação hidráulica com os sistemas aquíferos mais superficiais. Neste contexto, as litologias litorais com máximo potencial aquífero correspondem às areias, arenitos e cascalheiras das formações plio-plistocénicas, definindo o designado sistema plio-quadernário que, em geral, não ultrapassa também os 50 m de profundidade (Costa, *op.cit.*).

Relativamente ao substrato paleozóico, representado pelas formações de Mira e Brejeira, pode dizer-se que exhibe características típicas de aquífero fissurado visto que a circulação de água é feita através das fracturas na rocha.

A infiltração directa é relativamente limitada nestas formações, dependendo não só dos tipos litológicos aflorantes, como da capa de alteração superficial e ainda da distribuição espacial da fracturação. Neste contexto, os xistos argilosos apresentam comportamento praticamente impermeável, com a água a conseguir penetrar apenas nas zonas mais alteradas e fracturadas do maciço rochoso. Os maciços de fácies mais grauvacóide, onde a intensidade da fracturação é em regra mais elevada, constituem locais de infiltração preferencial e sistemas que parecem admitir algum nível de escoamento subterrâneo. Apesar de existirem algumas captações o potencial extractivo não é muito significativo, especialmente na vizinhança de maciços maioritariamente pelíticos (Pinho, 2003).

5. METODOLOGIA DE ESTUDO NO TRECHO SINES – ZAMBUJEIRA DO MAR

De forma a melhor corresponder aos objectivos a que esta dissertação se propõe, a metodologia adoptada possui a marca indelével do faseamento, desenvolvendo-se em 2 fases bem diferenciadas, cada uma com diferentes etapas.

5.1. 1ª FASE: AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Como definido no capítulo 2, a perigosidade é função de três dimensões, nomeadamente espacial, temporal e grandeza (magnitude) do evento perigoso. Pode então definir-se a seguinte equação:

$$\text{Perigosidade} = \text{Probabilidade de ocorrência} \times \text{Magnitude} \quad [5.1]$$

Em que a probabilidade de ocorrência deverá idealmente ser função das duas primeiras dimensões. Por outro lado, a magnitude da ocorrência integra o segundo termo.

Para a avaliação preliminar do risco associado à ocorrência de instabilizações nas arribas do litoral Sines – Zambujeira do Mar aplica-se uma metodologia de avaliação semi-quantitativa do risco. Neste trabalho a perigosidade calculada deve ser entendida como aparente, diferindo do conceito proposto por Varnes (1984), visto não estar associada à avaliação probabilística da ocorrência, mas sim a um cálculo ponderal, centrado na consulta de informação técnica disponível e na aferição visual das características geológico-geotécnicas com influência na estabilidade das arribas. A metodologia aplicada neste trabalho é adaptada do trabalho de Costa *et al.*, (2009), que avalia, em contexto semelhante, as arribas do litoral Cabo Espichel – Albarquel.

5.1.1. Recolha de informação bibliográfica e no campo

Os documentos relevantes que permitiram a realização desta primeira etapa foram cedidos pela ARH-Alentejo, tendo possibilitado a selecção dos locais a inspeccionar, destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Costa & Sá Caetano (2010; 2011) e Bettencourt *et al.*, (2009). Os dados recolhidos foram posteriormente confirmados e complementados com uma campanha de observações de campo realizada entre Abril e Setembro de 2013 por forma a incluir a época balnear que corresponde naturalmente aos períodos onde a vulnerabilidade é superior.

A CEHIDRO (Centro de Estudos de Hidrossistemas, 1999) apresenta uma cartografia de risco do trecho litoral entre Sines e o Cabo de S. Vicente baseada na vulnerabilidade costeira às acções de erosão marinha e subaérea. Apesar de não ser considerada a ocupação e uso do território na delimitação de cada faixa, o zonamento realizado permite a compreensão da tendência evolutiva geral da linha de costa.

No trabalho de Bettencourt *et al.*, (2009) é feito um reconhecimento dos sectores inseridos no Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) Sines-Burgau relativamente à ocorrência de movimentos de vertente nas arribas. Neste contexto, os autores adoptam uma classificação exclusivamente qualitativa da perigosidade associada a este evento, baseada no reconhecimento de campo, particularmente nas condições geológico-geotécnicas das arribas estudadas, e na identificação de potenciais situações de instabilidade.

Em 2013, a Sociedade Polis Litoral Sudoeste S.A. efectua diversos trabalhos preparatórios integrados no Plano Estratégico da Intervenção de Requalificação e Valorização do Litoral Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina. Assim, foi efectuado um levantamento preliminar das situações de instabilidade litoral entre S. Torpes e Burgau, sendo que a consulta deste trabalho permitiu uma avaliação preliminar da evolução costeira na área de trabalho, nomeadamente através da existência de processos de instabilização já identificados.

No presente trabalho a avaliação das características visuais de estabilidade geológico-geotécnica foi feita com recurso a obtenção e tratamento de imagens fotográficas, posteriormente complementadas com análises de cartografia topográfica local e geológica regional. Enumeram-se as cartas militares à escala 1: 25 000 respeitantes à área de estudo (folhas 544, 535, 552, 560) e a carta geológica de Portugal à escala 1: 200 000 (Folha 7).

5.1.2. Avaliação da perigosidade aparente

Neste trabalho, os termos da equação [5.1] são categorizados numa escala de 1 a 5 (com a significância respectivamente de: não significativa, reduzida, média, elevada e muito elevada). Recorde-se que, como atrás foi explicado, a probabilidade de ocorrência não corresponde ao resultado de um cálculo probabilístico, mas de uma avaliação ponderal da possibilidade do fenómeno perigoso acontecer.

Tabela 5.1 – Matriz de cálculo dos valores de perigosidade aparente (P.A)

P.A	Probabilidade de Ocorrência					Classes		
Magnitude	1	2	3	4	5			
1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	Muito elevada	[20;25]	
2	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	Elevada	[15;20[
3	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	Média	[10;15[
4	4,0	8,0	12,0	16,0	20,0	Reduzida	[5;10[
5	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	Não significativa	[0;5[

Assim cada local avaliado é classificado numa escala de 1 a 25, com base na matriz de cálculo apresentada anteriormente.

5.1.3. Avaliação preliminar do risco

A vulnerabilidade pode ser definida pela seguinte equação:

$$\text{Vulnerabilidade} = \frac{\text{Dano potencial}}{\text{Capacidade de resposta}} \quad [5.2]$$

Em que o termo “Dano potencial” corresponde às perdas máximas associadas à ocorrência de um evento perigoso, e “Capacidade de resposta” corresponde à resistência natural ou artificial do meio à ocorrência do dano induzido por esse mesmo evento. Ambos os termos foram categorizados numa escala de 1 a 5, à semelhança do que foi feito para a perigosidade aparente.

Tabela 5.2 – Matriz de cálculo dos valores de vulnerabilidade

Vulnerabilidade	Capacidade de resposta					Classes		
Dano potencial	1	2	3	4	5	Muito elevada	[4;5]	
1	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	Elevada	[3;4[
2	2,00	1,00	0,67	0,50	0,40	Média	[2;3[
3	3,00	1,50	1,00	0,75	0,60	Reduzida	[1;2[
4	4,00	2,0	1,33	1,00	0,80	Não significativa	[0;1[
5	5,00	2,50	1,67	1,25	1,00			

Assim, considerando um único conjunto de elementos em risco ($E_r = 1$), a equação [2.1] pode ser reescrita como:

$$\text{Risco} = \frac{\text{Probabilidade de ocorrência} \times \text{Magnitude} \times \text{Dano potencial}}{\text{Capacidade de resposta}} \quad [5.3]$$

A análise da equação [5.3] permite verificar que a capacidade de resposta é o único termo inversamente proporcional ao risco, contribuindo efectivamente para a sua mitigação. Neste contexto é extremamente importante o reforço deste termo através da implantação de medidas preventivas ou de mitigação estruturais ou não estruturais.

A multiplicação de cada parâmetro de acordo com a equação anterior gera os valores de risco correspondentes ao perigo em análise. Esta avaliação possui a subjectividade associada a uma análise semi-quantitativa, dado que não existe base para determinar cada parâmetro com exactidão. No entanto, como refere Schubert (2004 *in* Cândido, 2010), uma avaliação bem fundamentada é geralmente mais valorizada que meros cálculos numéricos, pelo menos na área da geotecnia.

Apresenta-se, em seguida, a matriz de cálculo dos valores de risco para todas as situações possíveis, cujos resultados, variando entre um mínimo de 0,2 e um máximo de 125 foram recalculados para o intervalo [0;1] para uma melhor percepção da significância dos valores obtidos. Definiu-se, assim, o designado “Índice de Risco” (IR) (Tabela 5.3) com classes de igual amplitude. A partir desta hierarquização inicial, são seleccionados para a fase seguinte deste estudo os locais que justificam

análises/intervenções de carácter prioritário (Risco muito elevado). Estas situações, justificam a realização de análises de estabilidade geotécnica pormenorizadas de forma a minimizar o investimento com intervenções desnecessárias e onerosas, obtendo uma maior relação custo-benefício e garantindo a segurança dos utentes e infra-estruturas.

Na Figura 5.1 apresenta-se o fluxograma correspondente a esta fase, indicando-se os parâmetros considerados na semi-quantificação das diferentes variáveis utilizadas no cálculo do Índice de Risco.

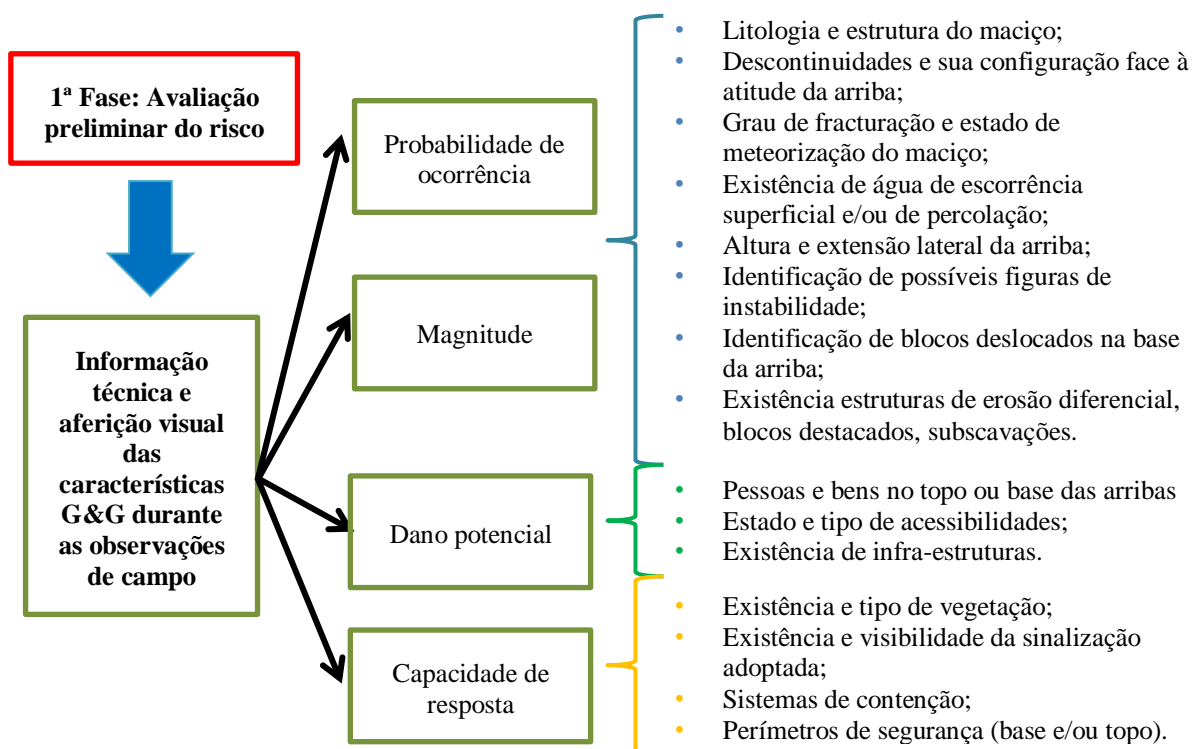


Figura 5.1 – Esquema de trabalhos da primeira fase

Tabela 5.3 – Matriz de cálculo dos valores de risco no intervalo [0;1] – Índice de Risco

IR	Perigosidade aparente												
Vulnerabilidade	1	2	3	4	6	8	9	10	12	15	16	20	25
0,20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
0,25	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
0,33	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07
0,40	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08
0,50	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,08	0,10
0,67	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13
0,75	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,15
0,80	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,08	0,10	0,10	0,13	0,16
1,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,16	0,20
1,25	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,16	0,20	0,25
1,33	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,09	0,10	0,11	0,13	0,16	0,17	0,21	0,27
1,50	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,10	0,11	0,12	0,14	0,18	0,19	0,24	0,30
1,67	0,01	0,03	0,04	0,05	0,08	0,11	0,12	0,13	0,16	0,20	0,21	0,27	0,33
2,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,10	0,13	0,14	0,16	0,19	0,24	0,26	0,32	0,40
2,50	0,02	0,04	0,06	0,08	0,12	0,16	0,18	0,20	0,24	0,30	0,32	0,40	0,50
3,00	0,02	0,05	0,07	0,10	0,14	0,19	0,22	0,24	0,29	0,36	0,38	0,48	0,60
4,00	0,03	0,06	0,10	0,13	0,19	0,26	0,29	0,32	0,38	0,48	0,51	0,64	0,80
5,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,24	0,32	0,36	0,40	0,48	0,60	0,64	0,80	1,00

Índice de risco (IR)		
Muito elevado	[0,8;1,0]	
Elevado	[0,6;0,8[
Médio	[0,4;0,6[
Reduzido	[0,2;0,4[
Não significativo	[0;0,2[

5.2. 2ª FASE: ZONAMENTO GEOTÉCNICO E AVALIAÇÃO DE RISCO

5.2.1. Caracterização geológico-geotécnica

Nesta fase, pretendeu-se aferir o comportamento geomecânico das arribas nos locais seleccionados (locais cujo Índice de Risco preliminar se apresenta mais elevado), baseado na caracterização geotécnica do maciço rochoso e na identificação dos mecanismos de rotura.

5.2.1.1. Investigações *in situ*

Foi realizado um levantamento geológico-geotécnico de superfície, tendo sido feitas diversas observações com o objectivo de determinar os parâmetros mecânicos e geométricos das principais famílias de descontinuidades como referem diversos autores, entre os quais Giani (1992), Hudson & Harrison (1997), Vallejo *et al.*, (2002) e Brady & Brown (2005). Como já referido neste trabalho, a ISRM (1978, 1981) possui o seu próprio conjunto de recomendações para a avaliação destes parâmetros, metodologia que se optou por seguir na determinação da atitude, espaçamento, persistência, abertura, enchimento, rugosidade e estado de meteorização das paredes. A percolação é avaliada de acordo com a classificação proposta por Bieniawski (1989).

Sempre que a morfologia do terreno o permitiu, recorreu-se à técnica da amostragem linear de superfícies de descontinuidade, descrita no capítulo 3.1 deste trabalho. Na verdade, a geralmente elevada altura das arribas avaliadas, não permitiu a disposição de *scanlines* a meia-altura ou nas proximidades da crista das arribas, onde frequentemente se encontraram blocos ou consolas em franco destaque. Sem outra alternativa, a grande maioria das *scanlines* foi realizada próximo da base das arribas.

Reconhece-se que esta não seria a localização preferencial, uma vez que as descontinuidades apresentam, em regra, variabilidade nas suas características, tendendo a ser melhores na base dos taludes litorais do que no topo, existindo então o risco de sobrestimar a qualidade do maciço em estudo. No entanto este facto é tido em consideração, procurando dar-se sempre prioridade à segurança pela análise crítica de todas as medições obtidas.

Devido à localização das *scanlines* na proximidade da base das arribas, e tendo em conta as dificuldades referidas em 3.1, a avaliação da persistência é feita neste trabalho segundo a sugestão de Brady & Brown (2005).

Para aplicação desta metodologia recorreu-se a uma fita métrica de 50 m de comprimento total, convenientemente distendida e encostada à face do talude. Refira-se a dificuldade de colocação da fita em algumas arribas onde as litologias xistentas se encontravam fortemente meteorizadas, sendo que a película de alteração por vezes não permitia a sua total fixação, acabando a fita por perder alguma da distensão devido à demora na obtenção dos elementos.

Foi igualmente feito um levantamento das características geométricas das arribas estudadas, nomeadamente no que respeita às suas orientações, alturas e extensões. A altura significativa das arribas dificultou a medição directa com fita métrica. Recorreu-se assim a relações trigonométricas baseadas no ângulo de elevação das arribas, medido com um altímetro *Carl-Leiss* para se obter um valor aproximado desta característica. As orientações dos taludes e descontinuidades foram medidas com recurso a uma bússola tipo *Clark* com inclinómetro, tendo sido utilizada uma régua graduada quando necessário (abertura, espaçamento, estratificação, etc.). Uma medida da resistência à compressão uniaxial (RCU) da rocha *in situ* foi obtida através da dureza ao resalto (R_L) mediante realização de ensaios com martelo de *Schmidt* de tipo L, que foram realizados de acordo com as recomendações de Aydin (2009). Algum equipamento utilizado nos trabalhos de campo é esquematizado na Figura 5.2.



Figura 5.2 – Equipamento utilizado na amostragem linear (adaptado de Vallejo *et al.*, 2002)

Relativamente aos materiais do Carbonífero marinho, recorreu-se inicialmente à consulta bibliográfica, nomeadamente ao trabalho de Pinho (2003) para obtenção de algumas propriedades físicas, nomeadamente peso volúmico aparente (γ_a). Este autor executa uma extensa caracterização geotécnica dos litótipos do GFBA, incluindo as formações de Mira e Brejeira, baseando-se numa pormenorizada amostragem de superfície e em profundidade, relacionando os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais com o grau de meteorização do material rocha amostrado (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Valores médios de γ_a de xistos e grauvaques das formações do GFBA, em função do estado de meteorização (Pinho, 2003)

Litologia	Estado de meteorização	γ_a (kN/m ³)
Xistos	W ₁₋₂	25,5
	W ₃	21,9
	W ₄₋₅	21,0
Grauvaques	W ₁₋₂	26,2
	W ₃	22,9
	W ₄₋₅	20,1

5.2.1.2. Caracterização laboratorial

De forma a complementar a estimativa baseada na análise bibliográfica e ensaios de campo com martelo de *Schmidt* e melhor caracterizar os materiais estudados procedeu-se à recolha de alguns blocos deslocados na base das arribas a fim de se proceder à sua carotagem para execução de ensaios laboratoriais. A natureza fortemente heterogénea e anisotrópica dos maciços rochosos do Carbonífero, motivada pela fina estratificação nas rochas mais pelíticas e pelo elevado grau de fracturação das bancadas grauvacóides, dificultou a aquisição de amostras não fissuradas adequadas para carotagem.

Neste contexto, na praia da Zambujeira do Mar recolheram-se três amostras de grauvaque, de onde se retiraram onze tarolos que, após a normalização das suas dimensões, foram utilizados para realização de ensaios de *tilt test* e de compressão uniaxial segundo metodologias propostas e descritas por Bruce *et al.*, (1989) e pela ASTM (2007) respectivamente. Procedeu-se igualmente à estimativa do peso volúmico aparente seco (γ_a) das amostras recolhidas com recurso à técnica do provete regular.

5.2.1.3. Classificações geomecânicas

De forma a complementar a caracterização geológico-geotécnica do maciço rochoso nas arribas estudadas e obter-se uma medida da sua qualidade, utilizaram-se os registos das *scanlines* para cálculo do índice RQD, tendo sido utilizada, para este efeito, a equação [3.5]. Os resultados são então classificados segundo a proposta de Deere (1967), que se apresentou na Tabela 3.13.

É igualmente feita uma estimativa de J_v e V_b com base nas equações [3.3] e [3.4] com o objectivo de quantificar o tamanho dos blocos. Neste contexto, o parâmetro β é estimado tendo em conta a geometria dos blocos destacados pelos sistemas de descontinuidades nas arribas, em concordância com a proposta de Palmström (1995 in Cardoso *et al.*, 2010) que se apresentou na Tabela 3.9.

Em alternativa, sempre que o enquadramento geomecânico o permitiu, optou-se pela aplicação do índice GSI, assim como as suas relações com o critério de Hoek–Brown, de forma a avaliar as características mecânicas do maciço rochoso, com recurso ao *software RocLab*®.

Após integração e tratamento dos dados obtidos pelos vários métodos de investigação geotécnica e aplicação das classificações geomecânicas procedeu-se à realização de uma descrição geotécnica preliminar da frente das arribas em estudo com recurso à BGD. Para este fim, aquando da realização das *scanlines* e ensaios de campo e laboratório, tentou-se quantificar o maior número de dados possível de modo a obter-se uma delimitação mais precisa das zonas geotécnicas descritas por esta classificação

5.2.2. Análise de estabilidade

A análise de estabilidade dos locais identificados foi feita individualmente e com recurso à técnica de análise cinemática de taludes rochosos descrita no capítulo 3.5. A análise dos mecanismos de rotura

planar e por cunha foi feita através do teste de *Markland* referido por Hoek & Bray (1981). Por outro lado a análise de roturas por tombamento foi feita segundo a metodologia descrita em Goodman (1989).

Neste contexto, inicialmente efectuou-se o estudo estatístico das atitudes das descontinuidades medidas em cada arriba com recurso à projecção estereográfica. Para tal recorreu-se ao *software Dips*[®] que permitiu definir as orientações das principais famílias de descontinuidade com base em diagramas de isodensidades dos bolos obtidos da projecção estereográfica do conjunto de atitudes registadas. A análise cinemática dos potenciais mecanismos de rotura foi feita com recurso ao *software RockPack III*[®] que permitiu a avaliação qualitativa da ocorrência de mecanismos de instabilidade nos locais seleccionados.

De forma a confirmar os resultados obtidos pela análise qualitativa e contornar as dificuldades representadas pela utilização de valores representativos, efectuou-se uma abordagem estatística baseada em todos os registos e suas inter-relações. Esta abordagem tem como objectivo o cálculo de uma medida da probabilidade de ocorrência dos diferentes mecanismos de rotura, tendo-se para tal recorrido ao *software DipAnalyst*[®]. Neste contexto, são utilizados “Índices de Rotura” (Admassu, 2012), expressos pelas seguintes equações:

$$\text{Índice de Rotura Planar (IRP)} = \frac{\text{Nº de descontinuidades que causam rotura planar}}{\text{Nº total de descontinuidades}} \quad [5.4]$$

$$\text{Índice de Rotura por Cunha(IRC)} = \frac{\text{Nº de intersecções que causam rotura por cunha}}{\text{Nº total de intersecções}} \quad [5.5]$$

$$\text{Índice de Rotura por Tombamento(IRT)} = \frac{\text{Nº de descontinuidades que causam tombamento}}{\text{Nº total de descontinuidades}} \quad [5.6]$$

Esta probabilidade é puramente geométrica, sendo que a análise dos mecanismos de rotura planar e tombamento é realizada através das relações entre as linhas de maior inclinação (*dip vectors*) referentes a todos os planos registados e o cone de atrito. A análise por cunha é feita considerando a projecção de todas as possíveis linhas de intersecção entre diferentes superfícies de descontinuidade. O valor do ângulo de atrito utilizado para esta análise foi baseado na classificação de Rocha (1976), que permite estimar ϕ com base na descrição das características das descontinuidades, nomeadamente a rugosidade, o estado de meteorização e tipo de enchimento (Tabela 5.5).

Acrescente-se que, na presença de blocos destacados em plano inclinado, efectuou-se uma análise baseada nas situações de equilíbrio de Ashby (1971 in Hoek & Bray, 1981) descritas no capítulo 2. Conseguiu-se assim obter-se uma medida de ϕ com recurso às equações [3.1] e [3.2], propostas por Patton (1966 in Hoek, 2007) e Barton & Choubey (1977 in Hoek, 2007) respectivamente, tendo-se

estimado os valores de JRC e JCS directamente no campo. Com esta metodologia pretendeu-se validar sempre que possível, a estimativa de ϕ utilizada na análise cinemática.

Tabela 5.5 – Ângulo de atrito nas paredes das descontinuidades (adaptado de Rocha, 1976)

Descrição das descontinuidades	ϕ (°)
Enchimentos argilosos, contínuos e moles.	7,5
Enchimentos argilosos contínuos compactos ou superfícies planas revestidas com minerais de baixo ângulo de atrito.	15
Superfícies planas e enchimentos siltosos ou silto-arenosos.	22,5
Superfícies lisas e planas, e paredes sãs ou superfícies ásperas e paredes pouco meteorizadas.	30
Superfícies ásperas e planas, e paredes sãs.	37,5
Superfícies ásperas e irregulares, onduladas ou descontínuas e paredes sãs.	45

JRC é obtido por comparação directa da superfície da descontinuidade medida na *scanline* com os perfis padrão publicados por Barton & Choubey (*op. cit.*) e representados na Figura 5.3, à esquerda. JCS é avaliado através da dureza ao ressalto medida sobre a superfície planar pretendida, ao contrário dos ensaios com martelo de *Schmidt* tradicionais. O valor obtido é então relacionado com o peso volumico aparente do material rocha estimado através da comparação das observações de campo com os dados da Tabela 5.4 recorrendo-se, sempre que possível, aos ensaios laboratoriais. Para este efeito é utilizada a proposta de Deere & Miller (1966 *in* Hoek, 2007) que se demonstra na Figura 5.3, à direita.

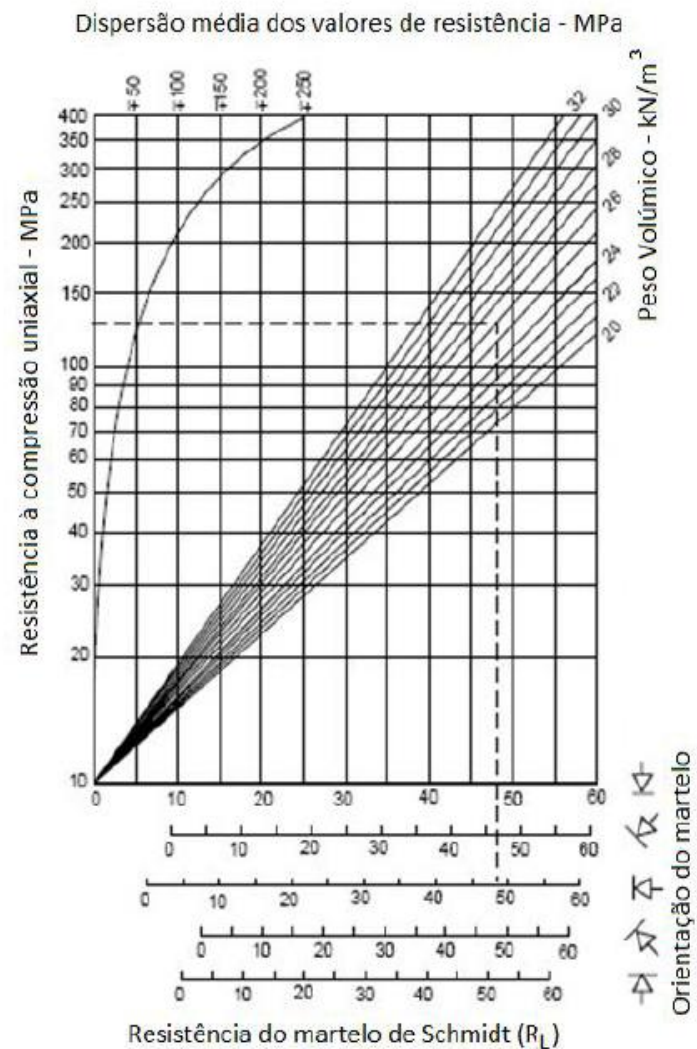
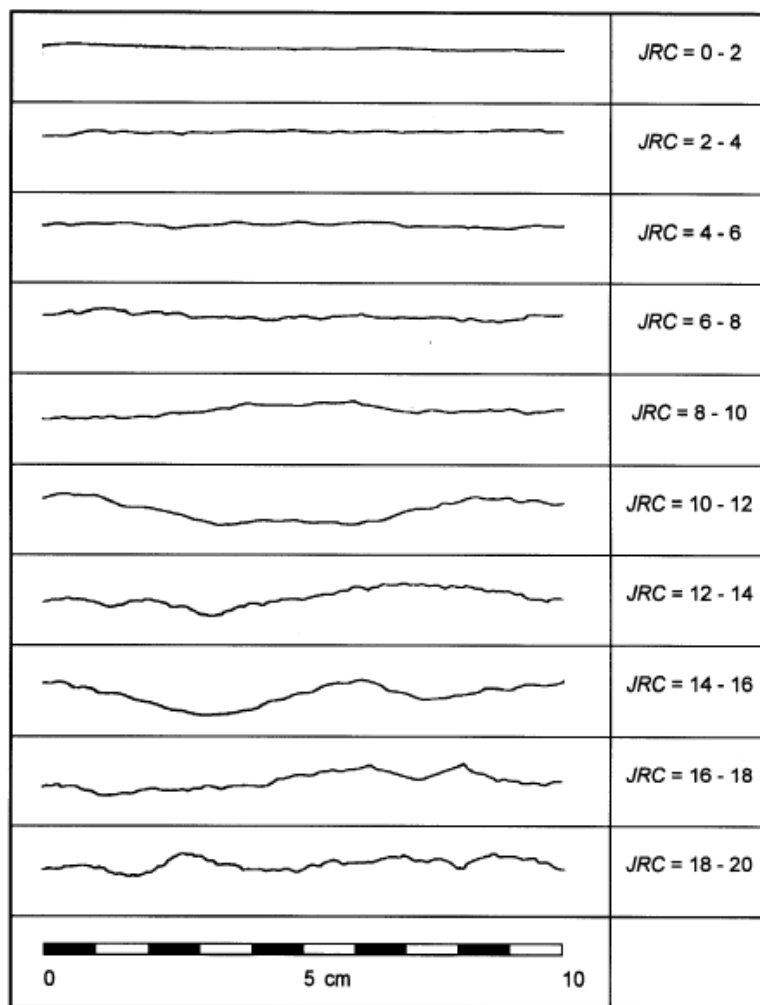


Figura 5.3 – Obtenção de JRC e JCS. À Esquerda: Perfis de rugosidade e valores JRC correspondentes (Barton & Choubey, 1977 in Hoek, 2007); À direita: Ábaco de Miller utilizado na estimativa da resistência da parede de uma descontinuidade através da dureza ao resalto (adaptado de Hoek, 2007)

É igualmente verificada a possibilidade de ocorrência de queda de blocos em consola por corte mediante a relação entre o peso do bloco em risco de queda e a força resistente que lhe está associada.

Com base na integração dos dados obtidos é instituído o zonamento geotécnico da frente arribas estudadas que é, então, utilizado na reavaliação do risco associado à queda de blocos tendo em consideração o uso actual e futuro a que a área de influência das arribas será sujeita.

Os resultados obtidos permitem a idealização propostas de planos de mitigação no contexto de uma estratégia integrada da gestão do risco.

O fluxograma indicativo dos trabalhos realizados nesta fase é apresentado na Figura 5.4

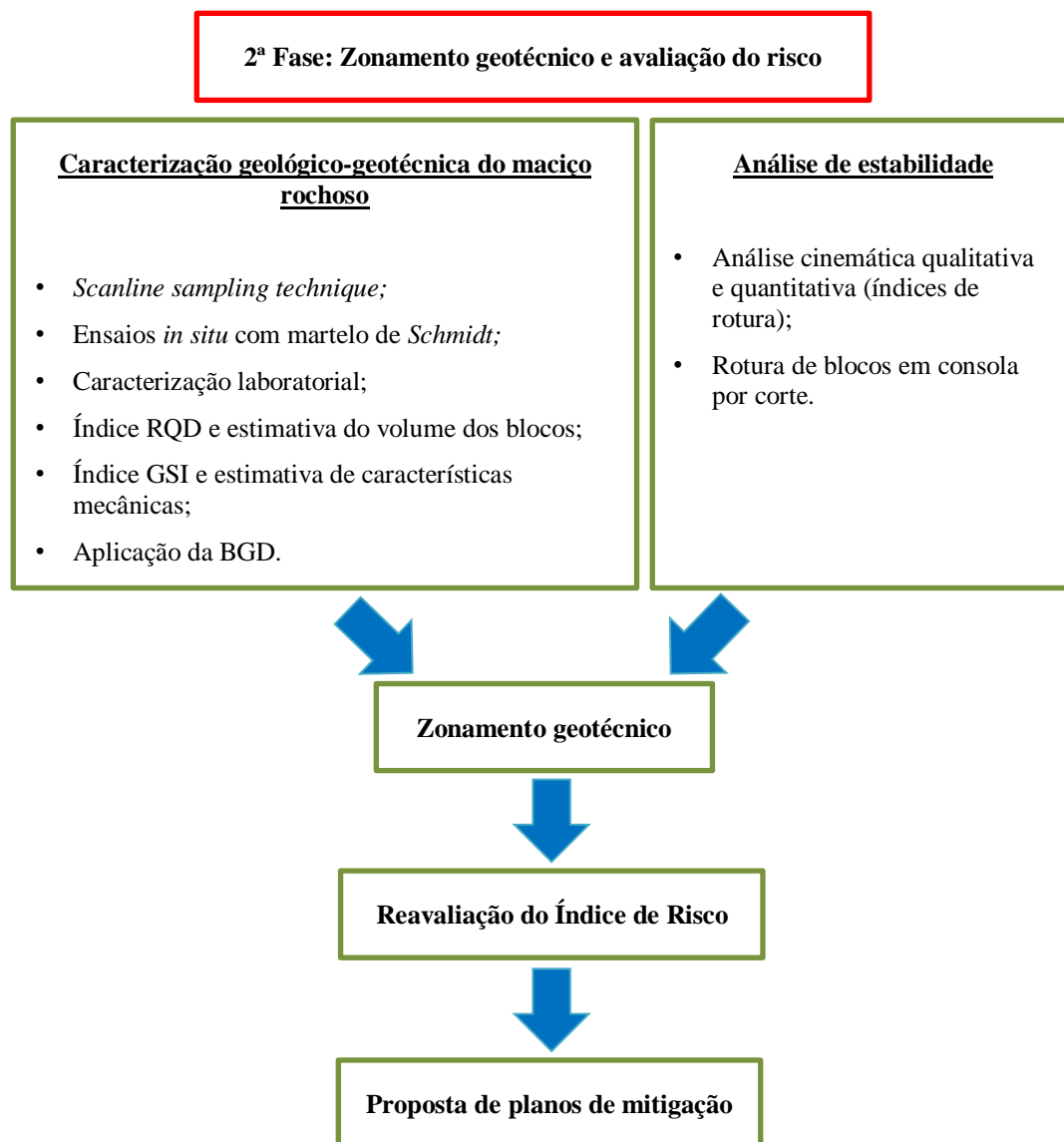


Figura 5.4 – Esquema de trabalhos da segunda fase

6. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA PERIGOSIDADE APARENTE, VULNERABILIDADE E RISCO

Com base na recolha de elementos bibliográficos foram seleccionados 16 locais para avaliação de risco preliminar (Figura 6.1), tendo-se calculado os valores de perigosidade aparente, vulnerabilidade e índice de risco (IR) com base nas informações recolhidas e sintetizadas nas fichas de caracterização que se apresentam no Anexo I.

A Tabela 6.1 apresenta os valores atribuídos às diferentes variáveis da equação 5.3, assim como o cálculo final do risco preliminar associado à problemática em análise calculado de acordo com a metodologia descrita no capítulo 5.

Refira-se que, não foi efectuada a vistoria dos locais 1, 12, 13 e 14, pelo que não lhes foi atribuído um valor de IR. Estes locais estando contudo referenciados pela ARH-Alentejo deverão ser objecto de avaliação de risco num futuro próximo.

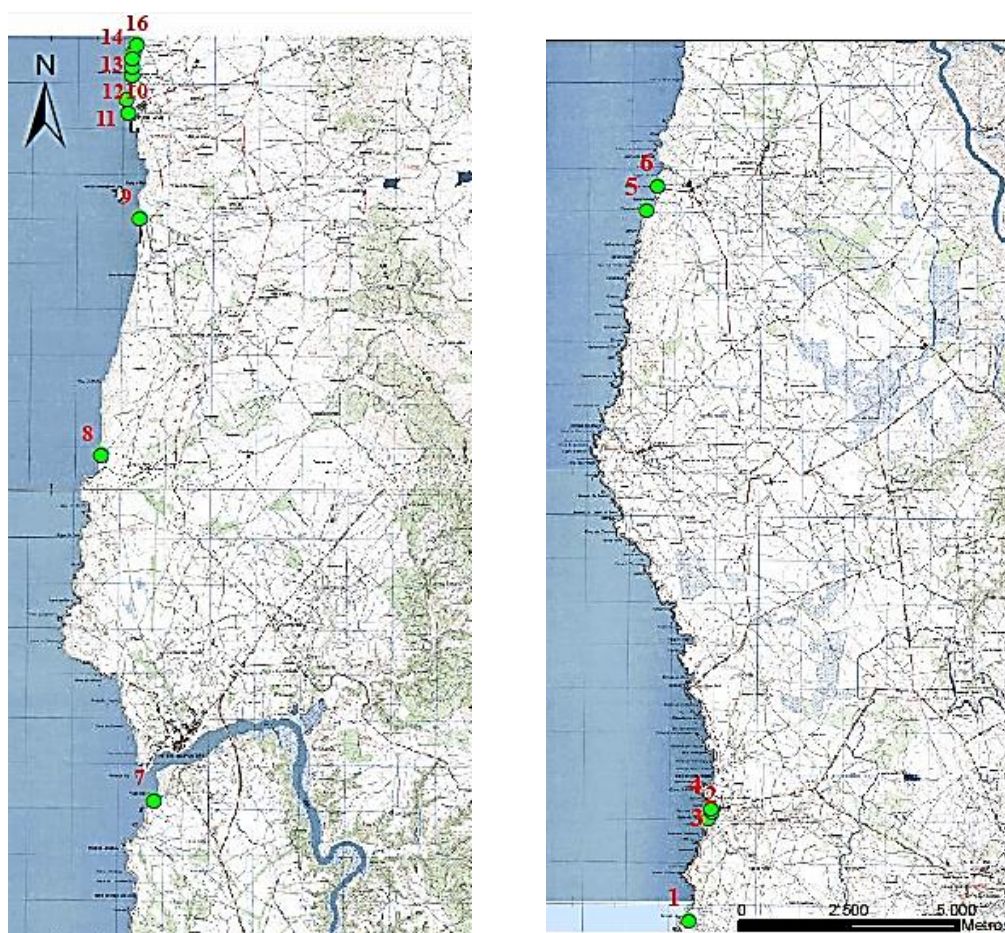


Figura 6.1 – Localização dos trechos seleccionados para a avaliação preliminar de risco

Tabela 6.1 – Cálculo dos valores de perigosidade aparente, vulnerabilidade e risco para os locais inventariados

Locais		Perigosidade aparente			Vulnerabilidade			Risco	
		Probabilidade de ocorrência	Magnitude	Valor final	Dano potencial	Capacidade de resposta	Valor final	IR	Classificação
2	Praia da Zambujeira do Mar (sul)	5	4	20	5	1	5	0,80	Muito elevado
3	Praia da Zambujeira do Mar (este)	5	5	25	5	1	5	1,00	Muito elevado
4	Praia da Zambujeira do Mar (norte)	5	5	25	5	1	5	1,00	Muito elevado
5	Praia do Almogrove	3	4	12	4	1	4	0,38	Reduzido
6	Sul da Foz dos Ouriços	3	3	9	3	1	3	0,22	Reduzido
7	Praia das Furnas	4	4	16	3	1	3	0,38	Reduzido
8	Praia do Malhão	4	5	20	3	1	3	0,48	Médio
9	Praia do Forte do Pessegueiro	5	5	25	5	2	2,50	0,50	Médio
10	Praia dos Buizinhos	3	4	12	5	1	5	0,48	Médio
11	Praia do Banho	3	4	12	5	1	5	0,48	Médio
15	Praia do Cerro da Águia	5	5	25	2	1	2	0,40	Médio
16	Praia da Samoqueira	5	4	20	4	1	4	0,64	Elevado

Classes de perigosidade aparente		
Muito elevada	[20;25]	
Elevada	[15;20[
Média	[10;15]	
Reduzida	[5;10[
Não significativa	[0;5[

Classes de vulnerabilidade		
Muito elevada	[4;5]	
Elevada	[3;4[
Média	[2;3[
Reduzida	[1;2[
Não significativa	[0;1[

IR		
Muito elevado	[0,8;1,0]	
Elevado	[0,6;0,8]	
Médio	[0,4;0,6]	
Reduzido	[0,2;0,4]	
Não significativo	[0;0,2[

Pela análise da Tabela 6.1 pode verificar-se que:

- Três locais apresentam-se com **risco muito elevado**;
- Um local apresenta-se com **risco elevado**;
- Cinco locais apresentam-se com **risco médio**;
- Três locais apresentam-se com **risco reduzido**;

Tecem-se em seguida algumas considerações julgadas pertinentes sobre os valores obtidos na análise pericial com o propósito de validar a análise realizada. É de salientar que na quantificação da capacidade de resposta deu-se prioridade à observação de medidas efectivas de mitigação estrutural. Apesar da implementação de sinalização de perigo em diversos pontos e da delimitação de algumas faixas de risco (*e.g.* praia da Zambujeira do Mar e praia da Samoqueira), a possibilidade de ocupação de locais afectados de elevado perigo não é efectivamente eliminada.

ZAMBUJEIRA DO MAR

As arribas norte e este da praia da Zambujeira do Mar, adquirindo valores extremos para a perigosidade aparente (25) e vulnerabilidade (5), traduzem situações de risco muito elevado ($IR = 1,00$). Já a arriba sul é classificada com risco muito elevado, contudo com um índice de risco inferior ($IR = 0,80$).

Relativamente às arribas norte e este, os valores adoptados para os parâmetros da equação [6.1] baseiam-se na heterogeneidade litológica e elevado grau de fracturação e meteorização do maciço rochoso que, em conjunto com a grande altura e grande extensão das arribas, promovem (através do destaque de blocos postos em evidência por erosão diferencial) condições propícias à ocorrência de diversas e frequentes situações de instabilidade. Neste contexto assinalam-se antigas e recentes quedas de blocos (dimensão variável) e tombamentos de blocos de considerável volume que alimentam a extenso manto de detritos observável na base destas arribas. Importa ainda referir que na arriba sul, onde se verifica ainda a ocorrência de antigos escorregamentos planares, o valor atribuído à magnitude é inferior em virtude do menor volume dos blocos potencialmente instáveis.

Sendo uma praia em zona urbana a praia da Zambujeira do Mar goza de excelentes acessibilidades, promovendo uma elevada afluência de utentes na época balnear. Durante a maré cheia a reduzida exposição de areal na zona norte promove a ocupação de espaços na proximidade da base das arribas. Estes factos, juntamente com a existência de infra-estruturas na crista das arribas justificam o elevado dano potencial associado à ocorrência de instabilizações neste local.

O valor atribuído à capacidade de resposta reflecte a ausência de medidas de mitigação estrutural, nomeadamente sistemas de contenção eficazes. Apesar da colocação de sinalização adequada em diversos pontos e da delimitação de uma zona da praia junto à base das arribas, estas medidas não deverão ser consideradas como definitivas uma vez que o reduzido areal pode incitar à ocupação de

locais de elevado risco. Observa-se no entanto que, a nível preliminar, os utentes parecem seguir as recomendações de segurança da ARH-Alentejo, como se verificou durante os trabalhos de campo (Figura 6.2).



Figura 6.2 – Sinalização na base das arribas e delimitação de uma área perto do limite nascente da praia da Zambujeira do Mar. Assinalado a vermelho: Infra-estruturas na crista das arribas norte e este da praia da Zambujeira do Mar

ALMOGRAVE – VILA NOVA DE MILFONTES

Os locais inspeccionados neste troço costeiro são classificados com risco reduzido, verificando-se $IR = 0,38$; $IR = 0,22$ e $IR = 0,38$ para as praias do Almogrove, Sul dos Ouriços e Furnas respectivamente.

A perigosidade aparente adquire valores mais reduzidos nestes troços em virtude da menor altura das arribas e poucas de situações de instabilidade com possibilidade de mobilizar blocos de grande envergadura.

Na zona central da praia do Almogrove observam-se algumas arribas e um leixão afectados por subscavação basal, verificando-se ainda algumas fracturas subverticais que destacam alguns blocos de maior volume. O valor atribuído à magnitude (4) neste local baseia-se nesta situação, procurando-se assim estar do lado da segurança (Figura 6.3).

Apesar do elevado grau de fracturação associado às litologias mais grauvacóides observáveis no Almogrove e Sul dos Ouriços, muitas fendas de tracção encontram-se preenchidas por filonetes de quartzo de exsudação (mais comum nas arribas sul e norte de ambos os locais), aumentando a

estabilidade do maciço rochoso relativamente ao desprendimento de blocos, como se comprova pelos poucos detritos observados na base destas arribas (Figura 6.4).

A probabilidade de ocorrência é superior na praia das Furnas em virtude da observação de efectivos sinais de instabilidade na forma de muitos detritos de pequena dimensão dispostos na base de algumas arribas. Este material é testemunha de antigas quedas de blocos de pequena dimensão provenientes das zonas mais meteorizadas e fracturadas do maciço rochoso (Figura 6.5). O valor adoptado para a magnitude é baseado na situação mais preocupante observada nesta praia e que corresponde à condição instável de alguns blocos de maior dimensão destacados por fracturas subverticais (Figura 6.6).

No que diz respeito à vulnerabilidade destes locais, considera-se que a praia do Almogrove apresenta as condições mais desfavoráveis em virtude da maior proximidade à zona urbana, bons acessos próximos dos limites norte e sul e localização de algumas infra-estruturas no coroamento das arribas. Estas condições promovem uma grande afluência a esta praia com consequente aumento do dano potencial (principalmente durante a maré cheia quando o areal disponível é substancialmente inferior).

O sul da praia dos Ouriços, sendo uma zona de praia encaixada com reduzido areal e relativamente mais afastada da zona urbana, apresenta menor ocupação humana que as restantes. Refere-se no entanto que no acesso a esta praia, os utentes passam directamente sob algumas bancadas rochosas susceptíveis à queda de pequenos blocos, como se pode observar pelos detritos espalhados nas escadas.

A praia das Furnas dispõe de um extenso areal pelo que, apesar de ser também bastante frequentada, os utentes em regra não se dispõem na proximidade da base das arribas, respeitando a sinalização da ARH-Alentejo. Outros factores dissuasores de ocupação humana correspondem aos detritos e vegetação que acompanham o desenvolvimento das arribas.



Figura 6.3 – Zona central da praia do Almogrove, onde se observa o destaque de alguns blocos de grande dimensão pela fracturação sub-vertical



Figura 6.4 – Erosão diferencial na arriba sul do local 6 – sul da Foz dos Ouriços e presença de fendas de tracção subverticais preenchidas por filonetes de quartzo nos níveis grauvacóides mais frágeis. Escala: Fita métrica fechada



Figura 6.5– Material instabilizado na base de uma arriba na praia das Furnas localmente muito meteorizada em virtude da exsurgência local de águas de percolação. Escala: Prancheta



Figura 6.6 – Blocos em condição potencialmente instável afectados por fracturas subverticais na praia das Furnas

VILA NOVA DE MILFONTES – PORTO COVO

Os locais inspeccionados neste troço costeiro são classificados com risco médio, tendo-se calculado $IR = 0,48$ e $IR = 0,50$ para as praias do Malhão e do Forte do Pessegueiro, respectivamente.

Devido ao semelhante enquadramento geológico e geomorfológico, ambos os locais verificam um mecanismo de evolução costeira bastante análogo e baseado na formação de consolas com balanço progressivamente maior que, quando é ultrapassada a resistência à tracção do material, sofrem rotura seguida de queda de blocos de grande volume (Figura 6.7).

Os valores muito elevados de perigosidade aparente associados a ambos os locais são baseados no volume significativo dos blocos já instabilizados, ou em vias de instabilização, dispostos em condições mais ou menos estáveis ao longo dos taludes (Figura 6.8). Considera-se que a probabilidade de ocorrência é inferior na praia do Malhão (4) devido à ausência de consolas de balanço significativo em virtude da protecção que os blocos já tombados oferecem contra a erosão costeira.

Na praia do Forte do Pessegueiro a máxima perigosidade provém da inventariação de uma extensa consola com grande balanço (Figura 6.9), observando-se ainda os efeitos da instabilização das litologias de cobertura sobre as escadas de acesso.

Na praia do Malhão é ainda considerado um dano potencial de valor elevado (3) devido à possível presença humana em locais próximos da base nas arribas, em especial na zona sul da praia, onde se concentram os blocos de maior volume. A afluência ao local é, no entanto, mais reduzida que nas restantes praias do troço inventariado não só devido à distância a partir do centro urbano mais próximo, como devido ao mau estado dos acessos.

Na praia do Forte do Pessegueiro, igualmente de acesso mais condicionado, o dano potencial é função da esporádica presença humana junto à base das arribas e da existência de uma edificação de interesse público (Forte do Pessegueiro) directamente sobre a crista da arriba sul. A este local é-lhe atribuído, no entanto, uma capacidade de resposta quantificada com o valor de 2 devido à implementação de uma cortina de betão que, pelo menos por agora, impede a erosão e consequente recuo das litologias mais brandas nesta área. Para sul observa-se ainda uma descarga de água possivelmente associada a um sistema de drenagem interna do maciço (Figura 6.10)



Figura 6.7 – Bloco de arenito carbonatado com reduzida sustentação basal afectado por uma fenda de tracção sub-vertical (praia do Malhão)



Figura 6.8 – Blocos de arenito já instabilizados dispostos na face e base da arriba sul da praia do Forte do Pessegueiro



Figura 6.9 – Erosão diferencial na arriba sul da praia do Forte do Pessegueiro, com formação de uma consola extensa com importante balanço. Escala: Pessoa no topo da escarpa



Figura 6.10 – Local de exurgência na arriba sul na praia do Forte do Pessegueiro

PORTO COVO – SINES

As praias dos Buizinhos e do Banho verificando $IR = 0,48$, são classificadas com risco médio. As praias do Cerro da Águia ($IR = 0,40$) e da Samoqueira ($IR = 0,60$) são classificadas respectivamente com risco médio e elevado.

Relativamente aos dois primeiros locais os valores atribuídos aos parâmetros da perigosidade são justificados pela ocorrência de blocos de reduzida, média e por vezes elevada dimensão, frequentemente sem sustentação basal. O destaque destes blocos é favorecido pela elevada compartimentação e meteorização do maciço xistento que originam relevos de erosão diferencial propícios à queda parcial por corte. No entanto, com excepção da zona norte da praia dos Buizinhos, não se observam muitos detritos na base das arribas, o que justifica o menor valor atribuído à probabilidade de ocorrência.

Ocasionalmente assinalam-se algumas situações de maior significância, como a ocorrência de algumas cavidades na arriba norte da praia do Banho (Figura 6.11) e um bloco rochoso de grande volume apoiado num afloramento xistento perto da base da arriba norte na praia dos Buizinhos (Figura 6.12). Estas situações, apesar da elevada perigosidade, são mais desvalorizadas em virtude da sua localização em zonas cujo acesso é dificultado durante a preia-mar.

As praias do Cerro da Águia e da Samoqueira representam elevada perigosidade em virtude dos diversos episódios de instabilidade, já ocorridos ou eminentes, que podem ser observados. Nas arribas da praia do Cerro da Águia assinalam-se duas situações que maximizam os parâmetros associados ao cálculo da perigosidade, nomeadamente um escorregamento planar datado de 2010 que movimentou um volume rochoso bastante considerável (Figura 6.13), e um potencial tombamento associado ao destaque, por fendas de tracção, de um conjunto de blocos na crista de uma arriba a sul deste local (Figura 6.14). Estas duas estruturas não terão sofrido, no entanto, evolução significativa no sentido da sua instabilização entre 2010 e 2013.

O destaque e queda de blocos de várias dimensões é, como testemunha a extensa cobertura de detritos na sua base, uma situação comum à generalidade das arribas da praia da Samoqueira, derivada das combinações geométricas entre os planos de estratificação e/ou fracturação. No centro da praia observa-se ainda um maciço xistento onde a estratificação inclina para fora da arriba. Como se pode verificar este é um local preferencial de ocupação balnear, o que aumenta o dano potencial associado a um eventual movimento de terrenos (Figura 6.15).

Refira-se ainda a existência de fendas de tracção na crista destas arribas que assinalam a existência de esforços associados à rápida subscavação das camadas inferiores e consequente recuo basal.

Devido à facilidade de acesso derivada da sua localização na zona urbana de Porto Covo, as praias dos Buizinhos e do Banho são mais frequentadas que a do Cerro da Águia, sendo que a da Samoqueira é

também bastante frequentada. Verifica-se ainda que os utentes denotam tendência para ocupar locais mais próximos da base das arribas à medida que o areal, já de si reduzido, é ocupado pelo avanço da ondulação durante a preia-mar. As escadarias de acesso às praias constituem, por vezes, zonas de maior dano potencial devido à passagem directa sob zonas particularmente meteorizadas e fracturadas do maciço rochoso (com destaque de blocos), como se verifica nas praias dos, Buizinhos e Samoqueira (Figura 6.16).

A praia do Cerro da Águia apresenta um valor de IR inferior às praias do Banho e Buizinhos. Tal acontece pois, apesar de no primeiro local a perigosidade associada às situações de instabilidade ser mais elevada, a localização das mesmas directamente sobre o mar reduz o dano potencial por elas traduzido. Nas praias do Banho e Buizinhos verifica-se a situação inversa, com situações de instabilidade menos significativas mas traduzidas num maior dano potencial devido à maior ocupação humana.

A capacidade de resposta das praias inventariadas neste troço costeiro é traduzida na implementação de sinalização de perigo colocada em diversos pontos, tanto na base, como no topo das arribas. Na praia da Samoqueira (único local classificado com risco elevado neste troço costeiro), tendo em conta as diversas situações de instabilidade ao longo das arribas a reduzida largura do areal foi delimitado pela ARH-Alentejo um perímetro de segurança (Figura 6.17).



Figura 6.11 – Arriba norte da praia do Banho, observando-se algumas cavidades (a vermelho) na base das arribas correspondentes, assim como os relevos a locais preferenciais de queda de blocos



Figura 6.12 – Bloco apoiado perto da arriba norte da praia dos Buizinhos



Figura 6.13 – Escorregamento planar com grande volume de material instabilizado na arriba sul da praia do Cerro da Águia. Escala: Sinalização de perigo



Figura 6.14 – Potencial situação de tombamento de alguns blocos destacados por fendas de tracção na crista de uma arriba a sul da praia do Cerro da Águia



Figura 6.15 – Arriba na zona central da praia da Samoqueira



Figura 6.16 – Blocos de significativo volume destacados pela fracturação sobre as escadas de acesso à praia da Samoqueira



Figura 6.17 – Perímetro de segurança adoptado pela ARH-Alentejo para a praia da Samoqueira

CONCLUSÕES

Os resultados desta avaliação preliminar são, em termos de perigosidade, geralmente concordantes com as opiniões de Bettencourt *et al.*, (2009), particularmente nas praias da Zambujeira do Mar, Malhão e Forte do Pessegueiro, todas classificadas com perigosidade muito elevada. No sector Almogrove – Vila Nova de Milfontes, os mesmos autores delimitam troços com perigosidade a variar

entre moderada a elevada mas neste trabalho considera-se perigosidade aparente reduzida para o sul da praia dos Ouriços.

Relativamente aos valores do índice de risco, as arribas da praia da Zambujeira do Mar são as que apresentam valores mais elevados. Por isso, torna-se clara a necessidade de realização de estudos de avaliação de estabilidade destas arribas, não só devido ao seu enquadramento geomecânico claramente favorável à ocorrência de movimentos de terrenos, como à elevada vulnerabilidade definida pela ocupação da crista e da base destas arribas por pessoas e bens.

Neste contexto, e tendo em conta o exposto nos pontos anteriores, são seleccionados para a 2ª fase deste trabalho os locais 2, 3 e 4, correspondentes às arribas na praia da Zambujeira do Mar.

7. ZONAMENTO GEOTÉCNICO E AVALIAÇÃO DE RISCO NA PRAIA DA ZAMBUJEIRA DO MAR

7.1. AVALIAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

O trabalho desenvolvido na 1ª fase deste estudo (capítulo 6) permitiu identificar a Praia da Zambujeira do Mar como o local, de entre os avaliados, com valor de Índice de Risco (IR) mais elevado (ver Tabela 6.1). Desta forma, foi este local o escolhido para avaliação na 2ª fase do estudo que compreende uma descrição pormenorizada das arribas estudadas nesta praia, com destaque para a identificação de antigas, recentes e previsíveis situações de instabilidade com vista ao zonamento geotécnico e avaliação de risco.

As arribas da praia da Zambujeira do Mar (Tabela 7.1), cuja localização geográfica se representa na Figura 7.1, são quase totalmente constituídas por alternâncias de xistos cinzentos (mais argilosos) e grauvaques. Na base das arribas afloram xistos de cor mais escura e fácies mais grauvacóide sendo que na arriba sul essa mudança de fácies é, por vezes, pouco perceptível. Para o topo pode observar-se uma cobertura detrítica pouco consolidada que, localmente, raramente alcança o metro de possança. Na Figura 7.2 apresenta-se um perfil esquemático. O material rochoso apresenta-se, em geral, intensamente compartimentado pela estratificação, xistosidade e fracturação, podendo diferenciar-se diversas famílias de fracturação de atitude dispersa, incluindo vários planos verticais ou subverticais. O comportamento do maciço rochoso, em termos geomecânicos, rege-se essencialmente pelas diversas relações geométricas existentes entre estes planos e as próprias arribas. Refere-se, no entanto, que pontualmente em zonas mais xistentas (argilosas) e meteorizadas, o comportamento do maciço parece tender para a isotropia, reflectindo a muito baixa resistência local dos materiais constituintes.

Tabela 7.1 – Dados relativos às arribas estudadas na praia da Zambujeira do Mar

Local	Coordenadas	Litologia	Altura (m)	Extensão (m)
4	37°31'26.95"N 8°47'12.35"W	Níveis xistentos intercalados com bancadas grauvacóides	22,4	52
3	37°31'26.45"N 8°47'11.77"W	Níveis xistentos intercalados com bancadas grauvacóides	17	70
2	37°31'18.75"N 8°47'15.43"W	Turbiditos grosseiros de fácies predominantemente grauvacóide.	21,8	185



Figura 7.1– Aspecto aéreo dos locais, 2, 3 e 4 na praia da Zambujeira do Mar. À esquerda: Localização geográfica (adaptado de Google Earth®; À direita: Vistas aéreas² da praia da Zambujeira do Mar e identificação das arribas em cada local

² Fonte: <http://portugalfotografiaaerea.blogspot.pt/>

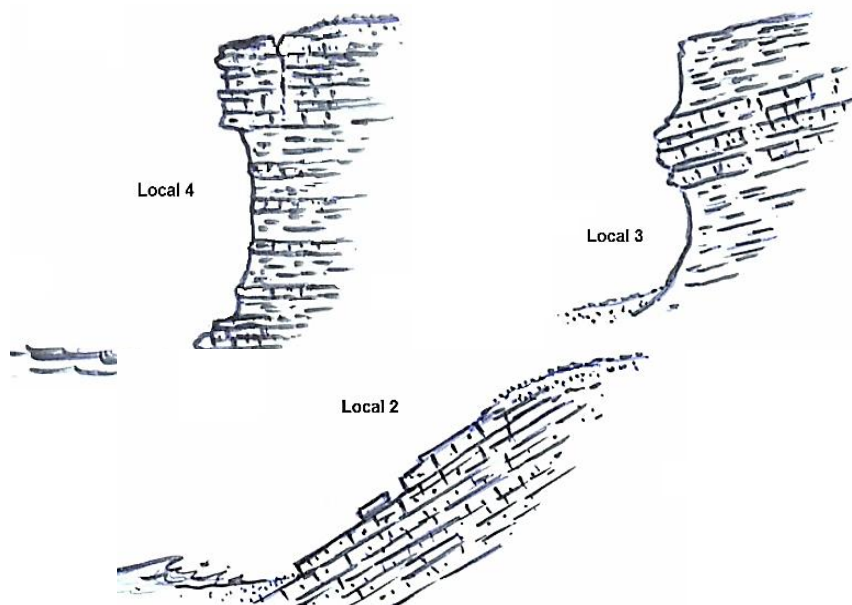


Figura 7.2 – Perfil esquemático das arribas estudadas na praia da Zambujeira do Mar (Lamas, 2013)

7.1.1. Local 2 – Praia da Zambujeira do Mar (sul)

O suave pendor desta extensa arriba, que constitui o limite sul da praia da Zambujeira do Mar, é concordante com a inclinação dos planos de estratificação, proporcionando, à partida, condições para a ocorrência de escorregamentos de tipo planar. Neste contexto identificou-se um cone de detritos de granulometria grosseira na base do talude, resultante da meteorização da superfície dos planos de estratificação que terá induzido o escorregamento superficial de material solto sobre a praia contígua (Figura 7.3, à esquerda).

O maciço rochoso, constituído por turbiditos de fácies predominantemente grauvacóide e granulometria grosseira encontra-se muito fracturado em toda a sua extensão, sendo que o espaçamento total aparenta ser bastante uniforme. A abertura das fracturas é bastante variável, sendo que em geral, as mais abertas e persistentes se apresentam preenchidas por filões de quartzo pouco fissurado, reforçando a sua resistência ao deslizamento (Figura 7.3 à direita). Acrescente-se que, em concordância com a geodinâmica costeira a generalidade das diaclases apresenta-se normalmente mais abertas para o topo do talude e mais fechadas para a base.

A meteorização do maciço rochoso tem carácter superficial e pontual. Associado a um dos locais mais afectados pela meteorização verifica-se a cicatriz de um antigo escorregamento planar (Figura 7.4) que, por comparação com o registo fotográfico do trabalho de Bettencourt *et al.*, (2009), não terá sofrido evolução significativa entre 2009 e 2013.

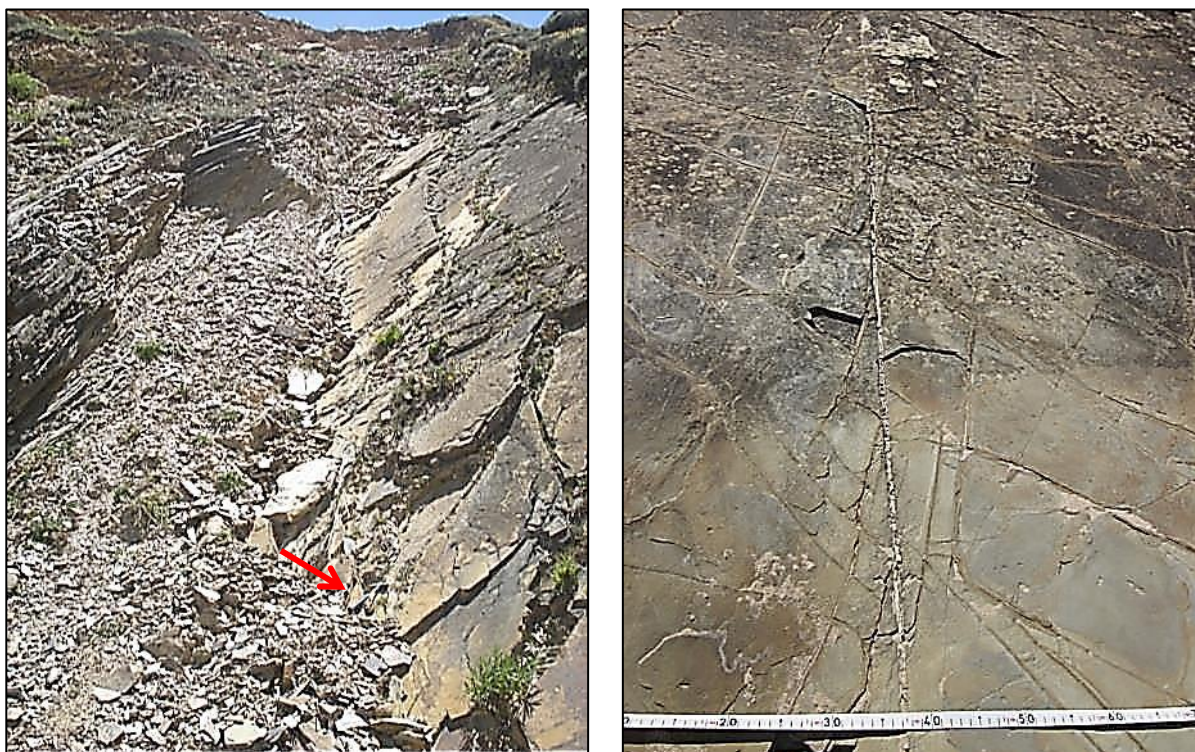


Figura 7.3 – À esquerda: material instabilizado na base do talude. Escala: martelo de geólogo. À direita: fractura sub-vertical muito persistente com enchimento de quartzo

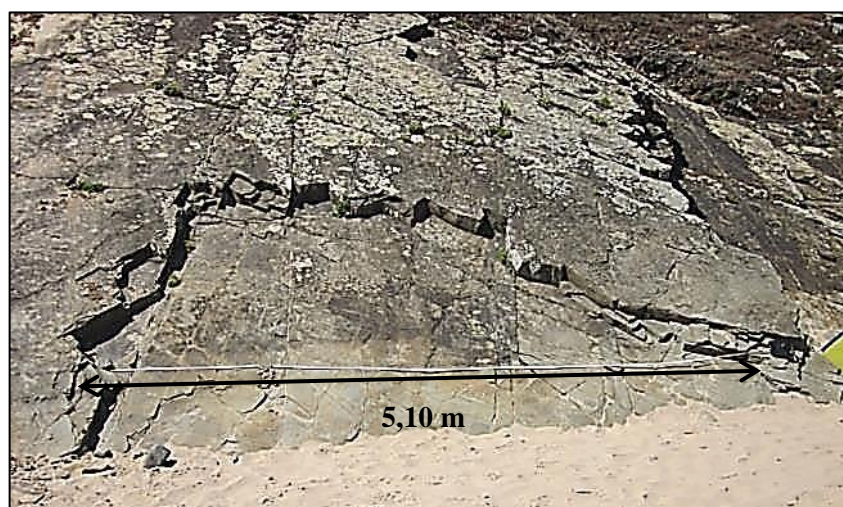


Figura 7.4 – Cicatriz deixada por um ou mais escorregamentos planares, onde também se aplicou a técnica de amostragem linear de superfícies de descontinuidade

Em locais mais próximos da linha de costa a acção dos agentes da erosão marinha é bem visível, observando-se algumas zonas particularmente afectadas por subscavação basal e dando origem a cavidades por vezes de grande extensão. Um exemplo é apresentado na Figura 7.5, sendo que neste caso a acção da ondulação é complementada pela escorrência superficial motivada pela presença de uma exsurgência alguns metros mais acima na vertente (Fonte D. Catarina) e de uma linha de água incipiente.



Figura 7.5 – Limite sul da praia. A azul: Localização de uma zona afectada por subcavação basal motivada pela combinação das acções de erosão marinha e subaérea. Observe-se a disposição da vegetação que é muito incidente neste local, ao contrário da restante face da arriba

A rede de fracturação, ao compartimentar o maciço rochoso (Figura 7.6), facilita a acção dos agentes erosivos destacando blocos de pequena/média dimensão ao longo de toda a extensão da arriba, os quais poderão deslizar ao longo das superfícies de estratificação ou sofrer queda nos locais mais afectados por subcavação basal.



**Figura 7.6 – Blocos destacados numa zona bastante fracturada da arriba.
Escala: Mochila.**

7.1.2. Local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este)

Esta arriba, de perfil sub-vertical, acompanha a estrada marginal da povoação e é constituída por alternâncias de xistos (cinzentos a negros) e grauvaques, sendo que as bancadas grauvacóides apresentam, ao nível da base, granulometria mais fina do que no local 2, descrito previamente. A estratificação, com pendor para norte, acompanha a face da arriba em toda a sua extensão respeitando, em teoria, as condições de segurança para escorregamentos planares.

A arriba apresenta sinais de instabilidade motivados essencialmente pela densa rede de fracturação, em especial as famílias subverticais, que são responsáveis pelas situações mais preocupantes. Os trabalhos de campo efectuados entre Abril e Agosto de 2013 permitiram aferir a evolução de uma situação de instabilidade originada pelo destaque, a partir de uma fractura sub-vertical, de um bloco grauvacóide de volume estimado entre 1,2 e 1,6 m³.

Em Abril de 2013 verificou-se que aquela fractura apresentava, no seu troço inferior, enchimento com material argiloso resultante da meteorização dos xistos, possivelmente associada à infiltração das águas da chuva que escorrem na face da arriba para o interior da fractura. A camada subjacente ao bloco denotava também claros sinais de meteorização (descoloração e parcial desintegração) com consequente diminuição na sua capacidade de suporte. Em Maio de 2013 verificou-se que esta situação evoluiu drasticamente no sentido da instabilização, tendo-se dado a rotura do bloco por mecanismos de tombamento (Figura 7.7). Fenómenos de ressecção poderão ter operado como causa de instabilidade, promovendo a abertura da fractura devido à retracção do material argiloso em resultado das elevadas temperaturas e ausência de precipitação ao longo do mês de Maio.



Figura 7.7 – Evolução da situação do bloco instável na arriba em Abril de 2013 (à esquerda) e Maio de 2013 (à direita)

Esta é, aliás, a zona da arriba onde se dá a maior incidência de fenómenos de instabilização, como se pode verificar pela extensa cobertura de blocos caídos ao longo do sopé da arriba. A maior incidência deve-se não só à desenvolvida rede de fracturação sub-vertical, mas também à meteorização das litologias em função das acções marinha e subaérea, que promove nitidamente o recuo das camadas xistentas mais argilosas, formando consolas nos locais onde se destacam as bancadas grauvacóides.

Refira-se ainda que a granulometria dos grauvaques tem gradação positiva da base para o topo da arriba, assemelhando-se aqueles, nesta zona, mais ao tipo de grauvaques que modelam a arriba sul. Este aumento de granulometria e consequente aumento de resistência constitui um outro factor que ajuda a explicar os relevos de erosão diferencial que se apresentam mais incisivos para o topo da arriba (Figura 7.8).

O acesso à parte norte da praia da Zambujeira é feito por umas escadas de acesso que se desenvolvem a partir da crista desta arriba. Durante os trabalhos de campo observou-se que o troço final destas escadas foi interditado pela ARH-Alentejo em conformidade com as recomendações dadas por Costa & Sá Caetano (2010), tendo sido construído um outro troço mais a sul.

Esta intervenção foi motivada pela elevada fragmentação de uma zona da arriba em inclinação negativa sobre o troço entretanto interditado. Observa-se que ocorreu actualmente a queda de alguns blocos neste local, pelo que a intervenção foi atempada e adequada. Em 2010 foi ainda efectuada uma pequena intervenção numa zona da arriba entre este local e o posto do Nadador Salvador (Costa & Sá Caetano., *op.cit.*) O procedimento consistiu no desmonte controlado de pequenos blocos em consola, não se tendo assinalado qualquer evolução posterior no sentido da instabilização como foi observado durante os trabalhos de campo realizados (Figura 7.9).



Figura 7.8 – Acumulação de material instabilizado (a vermelho) e camadas em consola, postas em destaque pela erosão diferencial, mais comuns para o topo da arriba



Figura 7.9 – Situações de risco anteriormente identificadas. À esquerda: Troço interditado das escadas de acesso, observando-se pequenos blocos poisados sobre os degraus; À direita: Trabalhos de saneamento num trecho da arriba a sul das escadas de acesso (*in* Costa & Sá Caetano., 2010)

7.1.3. Local 4 – Praia da Zambujeira do Mar (norte)

Esta arriba sub-vertical e alta, que limita a praia da Zambujeira do Mar a norte, é talhada em xistos cinzentos a negros alternados com níveis de grauvaques geralmente pouco espessos. As litologias apresentam-se fortemente meteorizadas, em especial os xistos cinzentos que, em alguns níveis, se encontram completamente deteriorados. As superfícies de estratificação mergulham para o interior do maciço pelo que, em teoria, se verificam as condições de estabilidade relativamente a escorregamentos de tipo planar.

Na sua base pode ser observado um cone de detritos (Figura 7.10) constituído por material bastante fragmentado associado a uma possível falha. Entre 2010 e 2011 esta estrutura sofreu ligeira evolução, nomeadamente através da suavização do seu talude ocidental devido à escorrência superficial durante episódios de intensa pluviosidade (Costa & Sá Caetano, 2011). Entre 2011 e 2013 não se registaram outras evoluções significativas no perfil desta estrutura. Na zona oeste da arriba assinala-se uma superfície de descontinuidade muito persistente cujo traço se desenvolve quase até à crista da arriba. Esta superfície confirma-se como uma falha normal com rejeitos (vertical e horizontal) estimados entre 0,5 – 1 m, abertura de cerca de 4,5 cm e preenchimento com material esmagado (Figura 7.11)

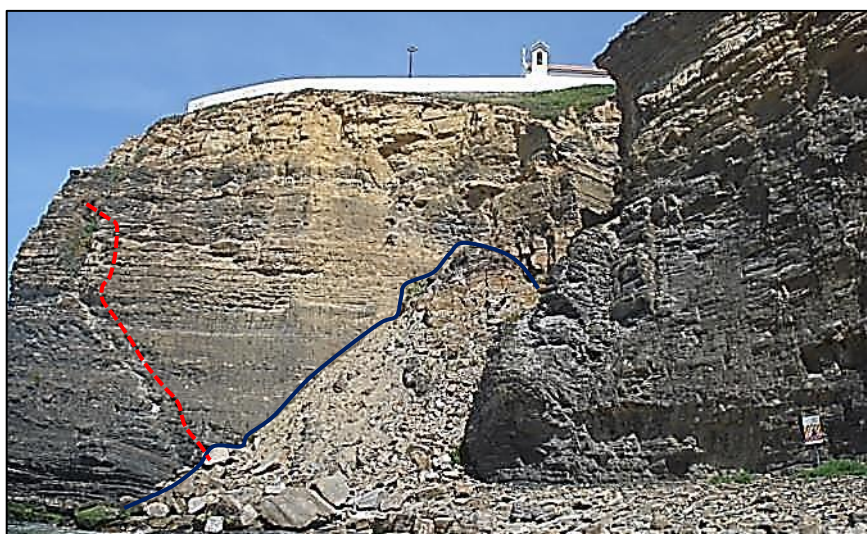


Figura 7.10 – Vista geral da arriba e das estruturas descritas. A azul: Perfil actual do cone de detritos; A vermelho: Identificação do traço da falha normal

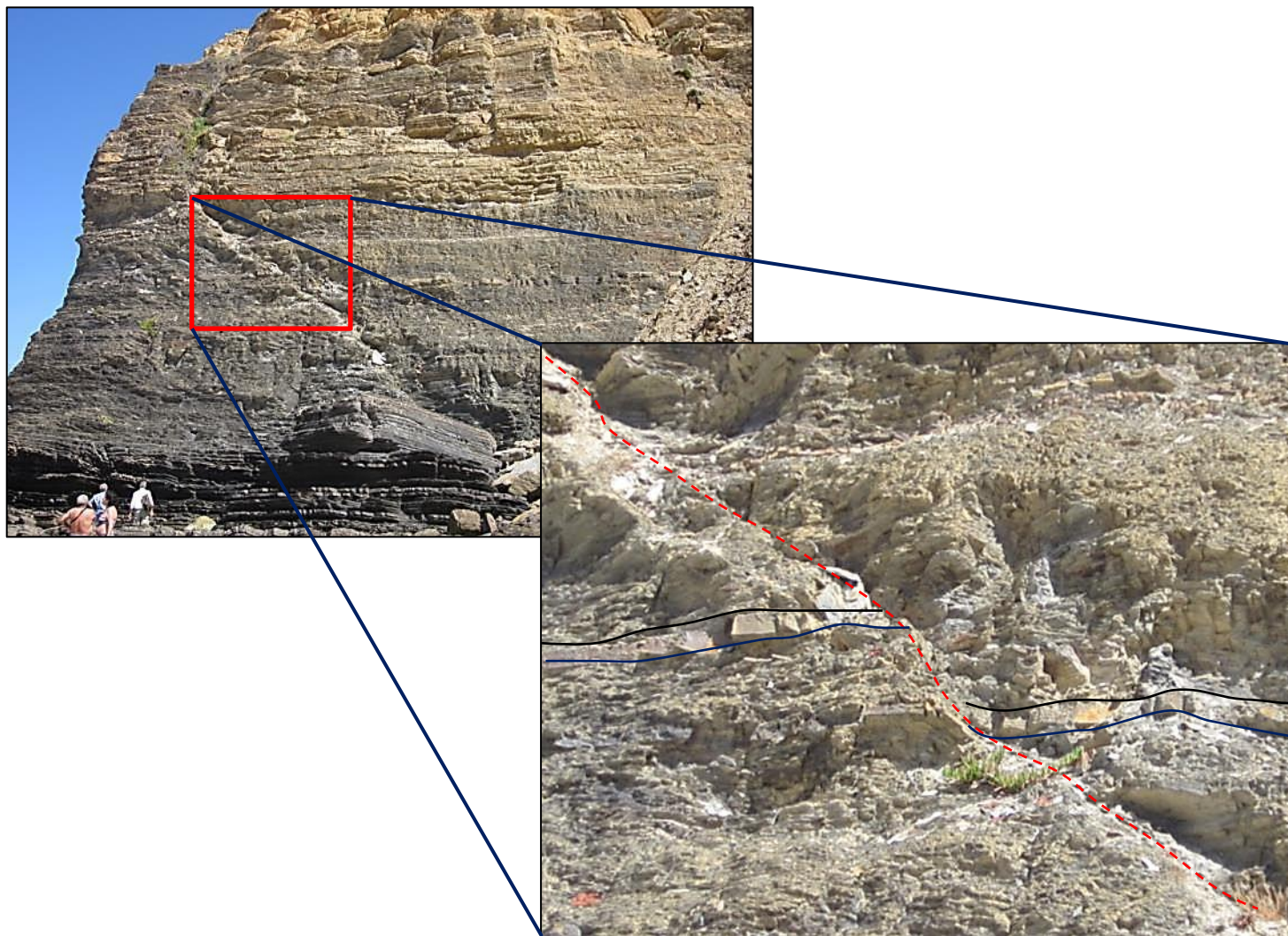


Figura 7.11 – Vista de pormenor da falha normal, individualizando-se o tecto (a preto) e o muro (a azul) da mesma bancada grauvacóide de um e de outro lado desta estrutura

O maciço rochoso apresenta-se intensamente fracturado, observando-se famílias de fracturas de atitude dispersa, sendo que as orientações mais próximas da sub-vertical, em conjunto com as superfícies de estratificação, influenciam fortemente a compartimentação do maciço e promovem quedas de blocos de pequena/média dimensão, como testemunha a extensa cobertura de material já instabilizado ao longo de toda a base desta arriba. Várias diaclases são muito persistentes estando por vezes preenchidas por material argiloso. A ocorrência de relevos de erosão diferencial é, uma vez mais, função da heterogeneidade na resistência global do maciço. Neste contexto podem identificar-se algumas consolas proeminentes para o topo da arriba que, pela continuação do recuo das camadas menos competentes, poderão incorrer em fenómenos de instabilidade. A formação destes relevos é novamente mais comum para o topo da arriba onde os níveis grauvacóides, para além de serem mais frequentes, possuem granulometria mais grosseira.

Na crista da arriba, próximo do muro que rodeia a capela de N^a Sr.^a do Mar, pode ser observada uma fenda de tracção bastante desenvolvida que destaca um bloco grauvacóide cujo volume é difícil de estimar. A fenda encontra-se actualmente recoberta por vegetação rasteira, a qual pode contribuir para a sua estabilização a curto prazo. No entanto, os fortes sinais de meteorização tanto no bloco rochoso, como na parede da fenda, indiciam a deterioração das suas características resistentes (Figura 7.12, à esquerda) Apesar de a sua queda não afectar directamente utentes da praia devido à sua localização, a elevada proximidade da estrutura que rodeia a capela aumenta a vulnerabilidade associada a esta situação.

Outro caso de estudo numa potencial rotura por corte na parte oriental da arriba mediante o destaque de um bloco de grandes dimensões partir de uma fractura sub-vertical quase totalmente penetrante (Figura 7.12, à direita). Através da comparação com as observações recolhidas por Costa & Sá Caetano (2010), verifica-se que terá ocorrido um aumento na persistência desta fractura e queda de alguns blocos de menor dimensão.



Figura 7.12 – Situações de instabilidade na arriba. À esquerda: bloco destacado por fenda de tracção na crista da arriba. Escala: Lenço de bolso. À direita: bloco destacado por fractura sub-vertical. Escala: Pessoa

7.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

7.2.1. Famílias de fracturas

A recolha das atitudes das diaclases foi inicialmente realizada separadamente para cada arriba, procedendo-se ao seu tratamento estatístico através da representação em projecção estereográfica de igual ângulo. Posteriormente, e tendo em conta que os locais são bastante próximos, é feita uma análise de todas as medições obtidas de forma a ter uma ideia geral da compartimentação do maciço rochoso com identificação das famílias mais representativas. Refira-se ainda que, no total, foram recolhidos 275 registos medidos ao longo de vários planos de observação.

Neste trabalho procura-se considerar uma densidade de registos mínima de cerca de 4% como condição necessária para a delimitação de uma única família. As famílias de fracturação são denominadas por F (1, 2, 3 e 4), sendo que a estratificação é representada por S_0 .

Apresentam-se em seguida as projecções estereográficas de isodensidade para cada local (Figuras 7.13, 7.14 e 7.15) com identificação das principais famílias de descontinuidades e respectivos diagramas de roseta (Figura 7.17). O plano que representa a orientação geral de cada trecho de arriba é identificado a branco e é denominado por T2, T3 e T4 para os locais 2, 3 e 4 respectivamente. É igualmente apresentada a projecção estereográfica da totalidade dos registos recolhidos na praia da Zambujeira do Mar (Figura 7.16). Os resultados apresentam-se na tabela 7.2.

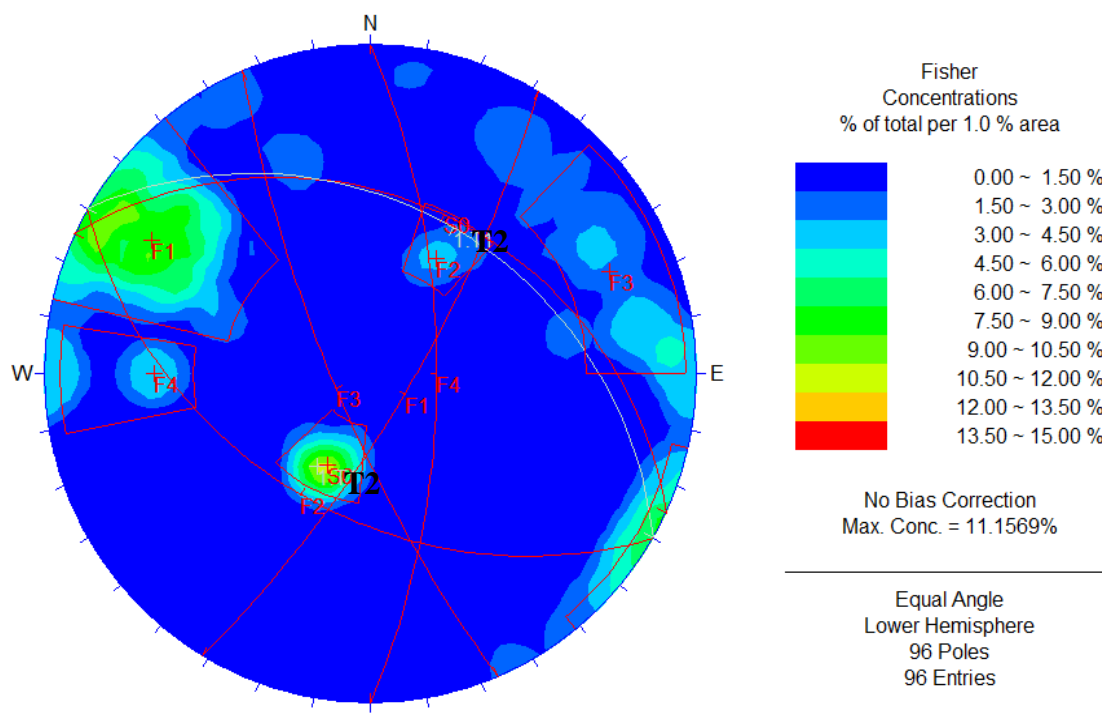


Figura 7.13 – Análise estatística das descontinuidades e projecção da frente da arriba (T2) no local 2 com recurso a rede estereográfica (software *Dips*®)

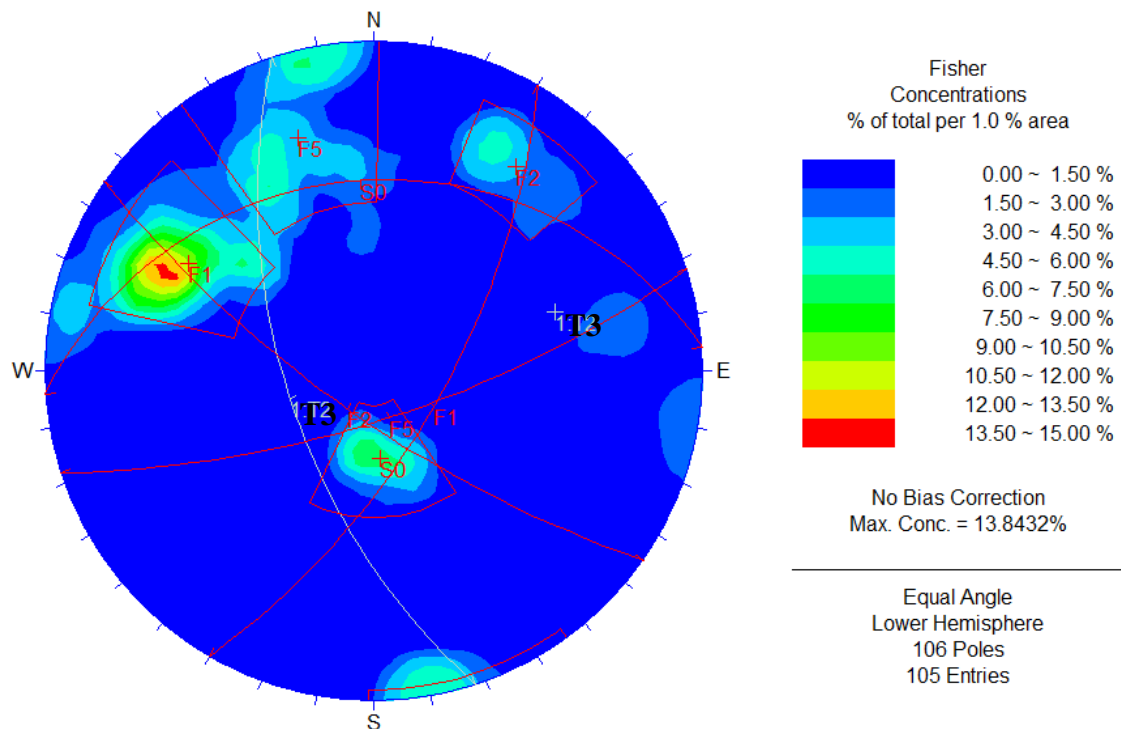


Figura 7.14 – Análise estatística das discontinuidades e projecção da frente da arriba (T3) no local 3 com recurso a rede estereográfica (software *Dips*®)

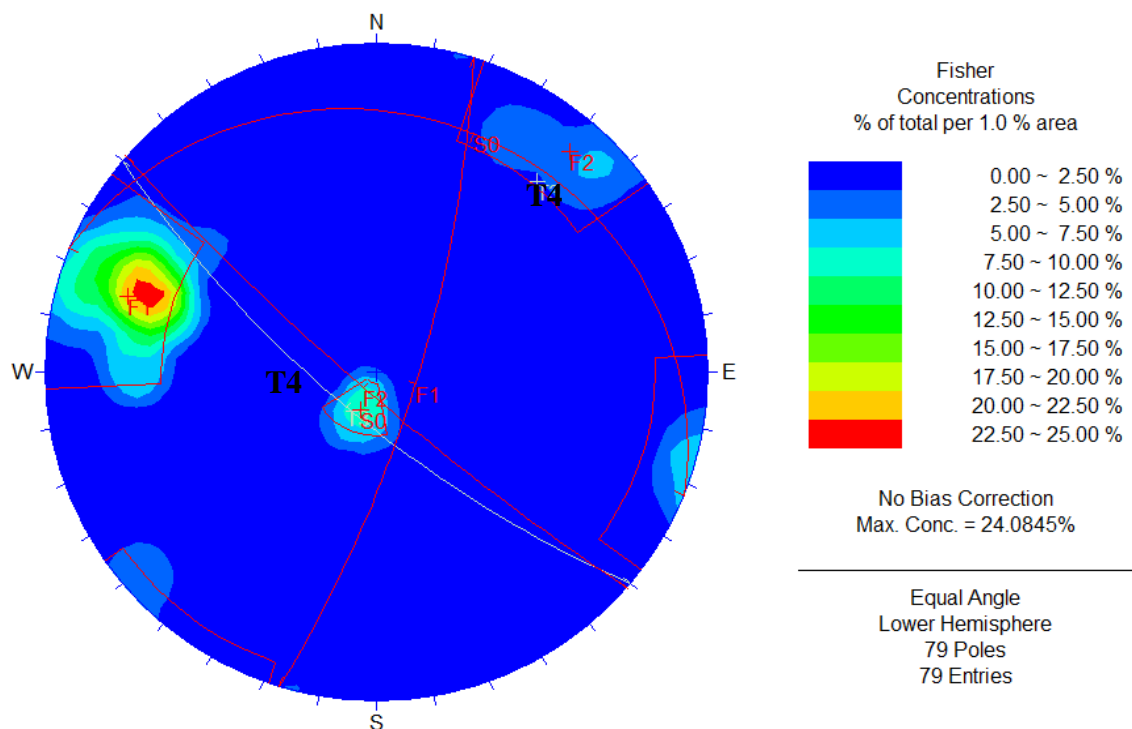


Figura 7.15 – Análise estatística das discontinuidades e projecção da frente da arriba (T4) no local 4 com recurso a rede estereográfica (software *Dips*®)

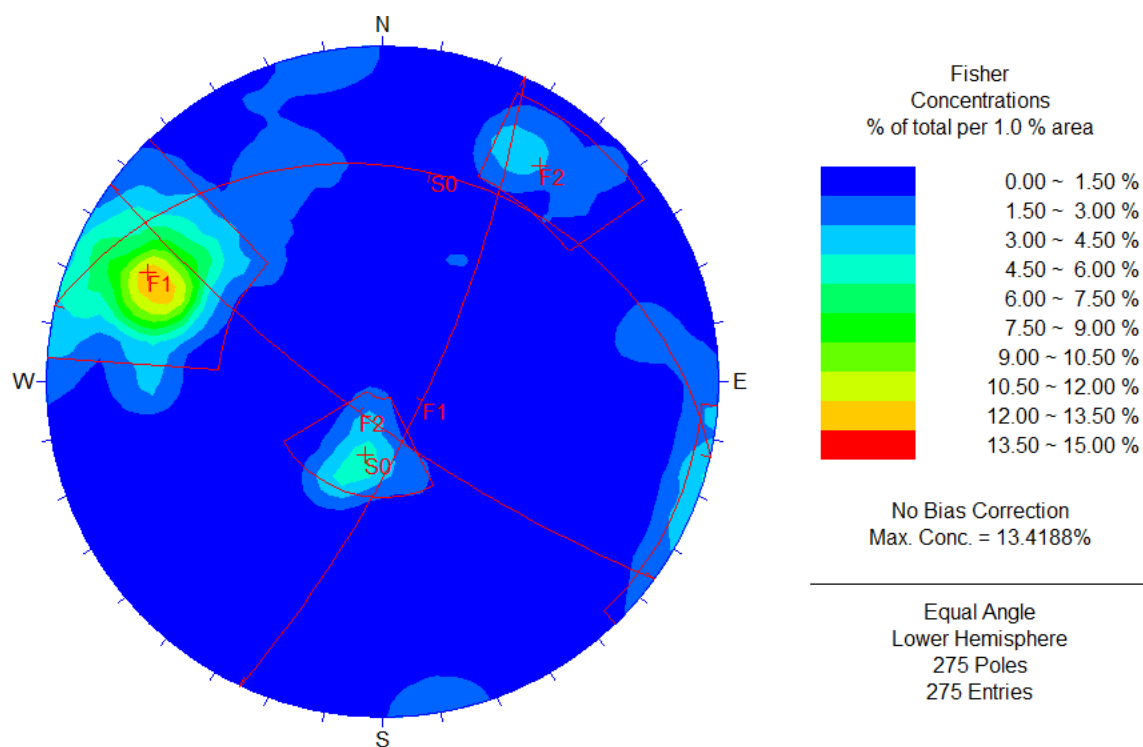


Figura 7.16 – Análise estatística da totalidade das descontinuidades medidas nos locais 2, 3 e 4 com recurso ao software *Dips*®

Tabela 7.2 – Orientação média das arribas estudadas e principais famílias de descontinuidades por local

Local	Atitude média	Famílias identificadas
2	N60°W36°N	S ₀ – N65°W34°N F ₁ – N31°E76°E F ₂ – N60°W44°S F ₃ – N23°W77°W F ₄ – N-S67°E
3	N18°W60°W	S ₀ – N84°E30°N F ₁ – N30°E68°E F ₂ – N55°W74°SW F ₅ – N72°E73°S
4	N50°W74°S	S ₀ – N68°W14°N F ₁ – N17°E76°E F ₂ – N49°W83°SW
Geral (2+3+4)	-	S ₀ – N77°W25°N F ₁ – N25°E75°E F ₂ – N54°W77°S

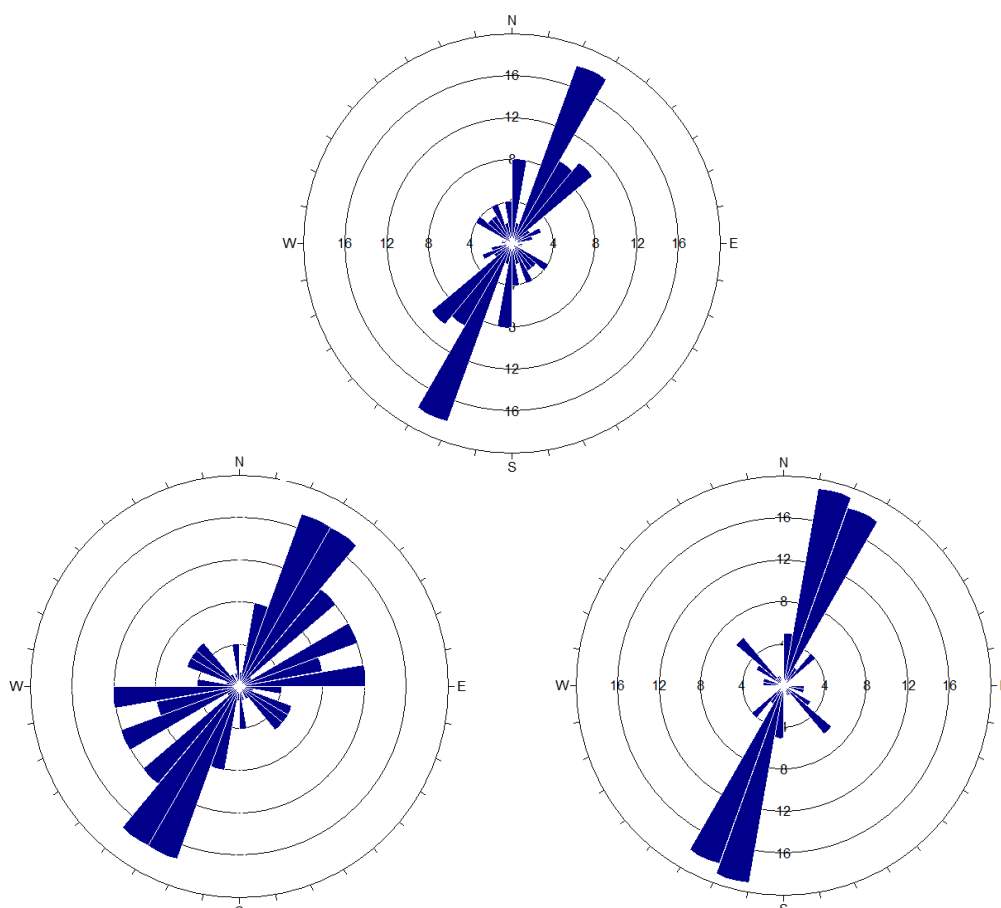


Figura 7.17 – Diagramas de roseta referentes aos três locais estudados. Em cima: Local 2; Em baixo à esquerda: Local 3; Em baixo à direita: Local 4

A análise dos estereogramas revela intensa compartimentação nas arribas da praia da Zambujeira do Mar testemunhada particularmente pela presença de duas famílias (F_1 e S_0) que se podem identificar nos três locais avaliados. Estas duas famílias, que correspondem respectivamente à principal família de fracturação sub-vertical e à estratificação das camadas, são fortemente representativas e não apresentam significativa variação na atitude dos seus planos, mesmo entre estereogramas diferentes, o que demonstra a sua elevada repetibilidade naquelas arribas. Acrescente-se que, principalmente no local 3, F_1 é responsável pelo destaque dos blocos que fomentam as situações de instabilidade mais preocupantes, de que é exemplo a situação evidenciada na Figura 7.7.

Relativamente à arriba no local 2 são identificadas mais três famílias de diaclases (F_2 , F_3 e F_4). As duas primeiras revelam bastante afinidade devido à reduzida diferença entre as suas orientações e são geralmente ortogonais a F_1 . Por outro lado a família F_4 corresponde a um conjunto de medições associadas à migração da direcção de alguns planos de F_1 para oeste.

No local 3 identifica-se igualmente a família F_2 e uma nova família (F_5) mais representativa à medida que se avança para sul. Esta família será, igualmente resultante da variabilidade associada aos planos de F_1 cuja direcção, neste caso, migra para este.

No local 4 é igualmente identificada a família F_2 , sendo que a reduzida densidade evidenciada no estereograma é função da dificuldade associada à observação e medição destes planos de diaclasamento uma vez que, neste caso, a sua atitude é aproximadamente paralela à face desta arriba.

Pelos diagramas representados na Figura 7.17 confirma-se que as famílias de discontinuidades mais representativas no maciço rochoso sobre o qual são talhadas as arribas da praia da Zambujeira do Mar correspondem às famílias de diaclasamento F_1 e F_2 , aproximadamente ortogonais entre si. A atitude da estratificação é pouco variável, verificando-se o aumento do seu pendor de norte para sul. É justamente no local 2 que se verificam com mais frequência as situações de instabilidade promovidas pela estratificação das camadas, de que é exemplo a cicatriz de escorregamento (s) planar (es) evidenciada na Figura 7.4.

De acordo com estes resultados as famílias identificadas como F_2 e F_3 poderão ser consideradas, a uma escala superior, como um único sistema de fracturação de maior variabilidade na atitude dos seus planos. As relações geométricas entre planos pertencentes a qualquer uma das famílias de discontinuidades mais representativas (F_1 , F_2 e S_0) e a atitude da arriba, em conjunto com a ocorrência de eventuais relevos de erosão diferencial, justificam a ocorrência de uma grande parte das quedas de blocos observadas nesta praia. Verifica-se ainda que a configuração geométrica da rede de fracturação define blocos de forma prismática a moderadamente prismática (Figura 7.18), em concordância com a classificação de Palmström (1995 *in* Cardoso *et al.*, 2010). O desprendimento de blocos classificados como bastante planos é associado às placas de espessura reduzida, quase laminares, inerentes às litologias xistentas (Figura 7.19).



Figura 7.18 – Características geométricas dos blocos destacados. À esquerda: Bloco destacado por duas fracturas subverticais e ortogonais (F_1 e F_2) e recentemente escorregado ao longo de um plano de estratificação (local 3); À direita: Blocos cuja geometria prismática é definida pela rede de fracturação (local 2)



Figura 7.19 – Blocometria planar nas camadas de fácies predominantemente xistenta (local 4)

7.2.2. Estado de meteorização do material rocha

Nas arribas da praia da Zambujeira do Mar podem encontrar-se zonas associadas a estados de meteorização da matriz rochosa bastante distintos, em concordância com a heterogeneidade litológica que caracteriza este maciço rochoso.

Nos locais 3 e 4 as zonas mais alteradas (W_5 segundo a classificação da ISRM, 1981) estão associadas às litologias pelíticas com maior percentagem de argila. Estes níveis sub-horizontais apresentam-se muito decompostos, traduzindo uma resistência ao ressalto de valor nulo. Pelo contrário os níveis xistentos com alguma proporção de fácies grauvacóide encontrados na base destas arribas encontram-se menos meteorizados apesar da acção directa da água do mar, como se verifica por exemplo no local 4, a oeste do cone de detritos. A meteorização das bancadas mais grauvacóides varia de W_{1-2} a W_3 . Para o topo das arribas o maciço exhibe uma tonalidade mais amarelada que traduz a descoloração dos grauvaques (localmente de granulometria mais grosseira) em virtude da acção erosiva da precipitação e da escorrência superficial sobre a crista das arribas.

A meteorização no local 2 é muito incipiente (predominantemente W_{1-2}) em virtude da natureza predominantemente grauvacóide das litologias aflorantes, estando confinada a lentículas superficiais de carácter pontual que, como já referido neste trabalho, parecem estar associadas a alguns episódios de instabilidade superficial verificados nesta arriba.

7.2.3. Avaliação das características das discontinuidades

Neste capítulo é feita a descrição das superfícies de discontinuidade que foram inventariadas com recurso à *scanline sampling technique*. Para este efeito foram realizadas no total nove *scanlines*, duas na base do local 2, quatro no local 3 e três no local 4, a partir das quais se procedeu à qualificação e quantificação das características das discontinuidades intersectadas.

Um dos maiores constrangimentos encontrados aquando do trabalho de campo prendeu-se com a dificuldade na disposição de linhas de levantamento transversais à frente das arribas, para além do reconhecimento longitudinal. Esta situação traduziu-se numa maior dificuldade em observar os planos pertencentes a famílias de atitude aproximadamente paralela à frente seleccionada e, portanto, não aflorantes à superfície. Apesar destes condicionalismos fez-se um reconhecimento transversal nos locais 3 e 4 (uma *scanline* em cada uma respectivamente), sendo que no local 2 este reconhecimento não foi exequível devido à morfologia do terreno.

Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas seguintes, sendo utilizada a nomenclatura proposta pela ISRM (1978, 1981). Assinala-se que a classificação atribuída à abertura, persistência e espaçamento é baseada nos valores médios obtidos para cada família, sendo as restantes propriedades avaliadas de forma qualitativa. A variabilidade observada na abertura de uma mesma superfície de descontinuidade é aqui considerada em termos de média calculada para os valores máximos e mínimos de abertura registados para as descontinuidades inventariadas na mesma *scanline*. As Tabelas 7.3 e 7.4 referem-se ao local 2, as Tabelas 7.5, 7.6, 7.7 e 7.8 correspondem ao local 3 e as tabelas 7.9, 7.10 e 7.11 ao local 4. A espessura das camadas é avaliada nos termos da respectiva classificação da ISRM (1981)

Tabela 7.3 – Resumo dos dados obtidos na *scanline* nº1 realizada no local 2 – Praia da Zambujeira do Mar (sul)

Nº 1		Direcção da linha		N60°W			
Propriedades\Famílias		F ₁		F ₃		F ₄	
Enchimento		Quartzo/argiloso esporádico		Sem enchimento		Sem enchimento	
Abertura (mm)	“Máximo”	7,3	Medianamente largas	0,7	Abertas	1,25	Abertas
	“Mínimo”	2,4	Abertas	0,7	Abertas	1	Abertas
Persistência (cm)		228,1	Pouco contínuas	50,3	Muito pouco contínuas	72,4	Muito pouco contínuas
Rugosidade		R ₃ a R ₄₋₅		R ₃ a R ₄₋₅		R ₃	
Espaçamento (cm)	Família	35,5	Moderadamente afastadas	150,0	Afastadas	30,0	Moderadamente afastadas
	Total (S)	23,4 (F ₃)					
Estado de meteorização das paredes		Frescas a descoloradas		Descoloradas		Descoloradas	
Percolação		Secas		Secas		Secas	
Espessura das camadas		L ₃					

Tabela 7.4 – Resumo dos dados obtidos na *scanline* nº2 realizada no local 2 – Praia da Zambujeira do Mar (sul)

Nº 2		Orientação da linha		N60°W			
Propriedades\Famílias		F ₁		F ₃		F ₄	
Enchimento		Quartzo esporádico		Sem enchimento		Sem enchimento	
Abertura (mm)	“Máximo”	3,3	Medianamente largas	2,2	Abertas	5,4	Medianamente largas
	“Mínimo”	2,3	Abertas	1	Abertas	2,4	Abertas
Persistência (cm)		246,1	Pouco contínuas	51,6	Muito pouco contínuas	30,5	Muito pouco contínuas
Rugosidade		R ₃ a R ₄₋₅		R ₃ a R ₄₋₅		R ₃	
Espaçamento (cm)	Família	33,6	Moderadamente afastadas	91,3	Afastadas	54,8	Moderadamente afastadas
	Total (S)	19,4 (F ₄₋₅)					
Estado de meteorização das paredes		Frescas a descoloradas		Descoloradas		Descoloradas	
Percolação		Secas		Secas		Secas	
Espessura das camadas		L ₃					

Tabela 7.5 – Resumo dos dados obtidos na *scanline* nº3 realizada no local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este)

Nº 3		Orientação da linha		N32°W	
Propriedades/Famílias		F ₁		F ₅	
Enchimento		Argiloso esporádico		Sem enchimento	
Abertura (mm)	“Máximo”	4,7	Medianamente largas	1,2	Abertas
	“Mínimo”	1,3	Abertas	0,2	Apertadas
Persistência (cm)		58,2	Muito pouco contínuas	74,8	Muito pouco contínuas
Rugosidade		R ₁₋₂ a R ₄₋₅		R ₁₋₂ a R ₄₋₅	
Espaçamento (cm)	Família	34,4	Moderadamente afastadas	44,5	Moderadamente afastadas
	Total (S)	18,5 (F ₄₋₅)			
Estado de meteorização das paredes		Descoloradas a desintegradas		Descoloradas	
Percolação		Secas		Secas	
Espessura das camadas		L ₄₋₅			

Tabela 7.6 – Resumo dos dados obtidos na scanline nº 4 realizada no local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este)

Nº 4		Orientação da linha		N-S	
Propriedades\Famílias		F ₁		F ₅	
Enchimento		Argiloso esporádico		Argiloso esporádico	
Abertura (mm)	“Máximo”	1	Abertas	1	Abertas
	“Mínimo”	Fechadas		Fechadas	
Persistência (cm)		92,5	Muito pouco contínuas	85	Muito pouco contínuas
Rugosidade		R ₁₋₂ a R ₄₋₅		R ₁₋₂ a R ₄₋₅	
Espaçamento (cm)	Família	68,3	Afastadas	16,3	Próximas
	Total (S)	25,625 (F ₃)			
Estado de meteorização das paredes		Descoloradas a desintegradas		Descoloradas a desintegradas	
Percolação		Secas		Secas	
Espessura das camadas		L ₄₋₅			

Tabela 7.7 – Resumo dos dados obtidos na scanline nº 5 realizada no local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este)

Nº 5	Orientação da linha	N64°W	
Propriedades\Famílias		F ₅	
Enchimento		Sem enchimento	
Abertura (mm)	“Máximo”	0,25	Parcialmente abertas
	“Mínimo”	0,125	Apertadas
Persistência (cm)		102,75	Pouco contínuas
Rugosidade		R ₁₋₂ a R ₃	
Espaçamento (cm)	Família	27,9	Moderadamente afastadas
	Total (S)	21,7 (F ₃)	
Estado de meteorização das paredes		Descoloradas a desintegradas	
Percolação		Secas	
Espessura das camadas		L ₄₋₅	

Tabela 7.8 – Resumo dos dados obtidos na scanline nº 6 realizada no local 3 – Praia da Zambujeira do Mar (este).

Nº 6	Orientação da linha	N20°W	
Propriedades\Famílias		F ₂	
Enchimento		Sem enchimento	
Abertura (mm)	“Máximo”	4,6	Medianamente largas
	“Mínimo”	1,4	Abertas
Persistência (cm)		40	Muito pouco contínuas
Rugosidade		R ₁₋₂ a R ₃	
Espaçamento (cm)	Família	33,8	Moderadamente afastadas
	Total	33,8 (F ₃)	
Estado de meteorização das paredes		Descoloradas a desintegradas	
Percolação		Secas	
Espessura das camadas		L ₄₋₅	

Tabela 7.9 – Resumo dos dados obtidos na *scanline* nº 7 realizada no local 4 – Praia da Zambujeira do Mar (norte)

Nº 7	Orientação da linha	N50°W	
Propriedades/Famílias		F ₁	
Enchimento		Argiloso esporádico	
Abertura (mm)	“Máximo”	3,8	Medianamente largas
	“Mínimo”	1	Abertas
Persistência (cm)		3392,4	Continuidade muito elevada
Rugosidade		R ₁₋₂ a R ₃	
Espaçamento (cm)	Família	33,6	Moderadamente afastadas
	Total (S)	33,6 (F ₃)	
Estado de meteorização das paredes		Descoloradas	
Percolação		Secas	
Espessura das camadas		L ₄₋₅	

Tabela 7.10 – Resumo dos dados obtidos na *scanline* nº 8 realizada no local 4 – Praia da Zambujeira do Mar (norte)

Nº 8	Orientação da linha	N50°W	
Propriedades/Famílias		F ₁	
Enchimento		Argiloso esporádico	
Abertura (mm)	“Máximo”	4,5	Medianamente largas
	“Mínimo”	0,09	Muito apertadas
Persistência (cm)		3716,6	Continuidade muito elevada
Rugosidade		R ₁₋₂ a R ₄₋₅	
Espaçamento (cm)	Família	40,2	Moderadamente afastadas
	Total (S)	40,2(F ₃)	
Estado de meteorização das paredes		Descoloradas a desintegradas	
Percolação		Secas	
Espessura das camadas		L ₄₋₅	

Tabela 7.11 – Resumo dos dados obtidos na *scanline* nº 9 realizada no local 4 – Praia da Zambujeira do Mar (norte)

Nº 9		Orientação da linha		N5ºE	
Propriedades\Famílias		F ₁		F ₂	
Enchimento		Argiloso esporádico		Argiloso esporádico	
Abertura (mm)	“Máximo”	5	Medianamente largas	2,7	Medianamente largas
	“Mínimo”	Fechadas		2,3	Abertas
Persistência (cm)		52,5	Muito pouco contínuas	133,3	Muito pouco contínuas
Rugosidade		R ₁₋₂		R ₁₋₂	
Espaçamento (cm)	Família	203	Muito afastadas	35	Moderadamente afastadas
	Total (S)	68,3 (F ₂)			
Estado de meteorização das paredes		Frescas		Frescas	
Percolação		Secas		Secas	
Espessura das camadas		L ₄₋₅			

A família designada por F₁ é a que apresenta menor espaçamento médio verificando-se que, para qualquer das arribas amostradas, a intensidade de fracturação apresenta valores muito semelhantes, sendo classificada como F₃ (20 – 60 cm). A excepção ocorre na *scanline* nº 9 não devendo contudo, os elevados valores obtidos ser considerados representativos uma vez que a direcção amostrada é aproximadamente paralela ao plano médio de F₁, resultando na não intersecção de muitas destas superfícies. A família F₅ é a que apresenta, em geral, menor espaçamento médio e menor dispersão de valores. No local 2 a família F₄ manifesta um espaçamento geralmente semelhante à família F₁, sendo que a família F₃, para além de apresentar um maior espaçamento médio, manifesta maior variabilidade relativamente a esta propriedade, como se pode verificar pela diferença entre os valores obtidos para as *scanlines* nº 1 e nº 2. A esta família é-lhe então atribuída a classificação F₂ (60 – 200 cm).

Em termos globais F₁ regista as diaclases de maior persistência. Verifica-se que estas superfícies interrompem sistematicamente as diaclases pertencentes aos restantes sistemas, como se pode verificar na Figura 7.3 à direita. O valor de continuidade calculado para as *scanlines* relativas à arriba no local 4 é função da existência de alguns elementos quase totalmente penetrantes (de persistência superior a 20 m), desenvolvendo-se até à crista da arriba. As restantes famílias são, de acordo com os dados recolhidos no campo, pouco a muito pouco contínuas.

A abertura das discontinuidades é, nas arribas estudadas, a propriedade que apresenta maior variabilidade, tanto intrinsecamente a um mesmo elemento, como entre elementos pertencentes a uma mesma família e, finalmente, entre famílias distintas. Os elementos pertencentes às famílias F₁, F₂ e F₄ apresentam maior variabilidade intrínseca, observando-se geralmente um aumento de abertura da base para o topo das arribas. Esta situação justifica as, por vezes, significativas diferenças registadas no cálculo da abertura “máxima” e “mínima” destas famílias que, em geral, são classificadas como muito apertadas (ou fechadas) a medianamente largas (2,5 – 10 mm). No local 4 observam-se algumas

superfícies pertencentes a F_1 que verificam troços fechados, o que justifica o menor valor de abertura “mínima” calculado para a *scanline* nº 8. As famílias F_3 e F_5 apresentam os menores valores de abertura, tanto “máximo” como “mínimo” que são ainda bastante semelhantes entre si. Esta circunstância traduz a menor variabilidade associada à abertura das superfícies de descontinuidade destas famílias.

Nas arribas da praia da Zambujeira do Mar, com excepção da falha normal já identificada, a maioria das diaclases não estão preenchidas. A presença de enchimento é, aliás, quase exclusiva a elementos da família F_1 . Neste contexto, nos locais 3 e 4 verificam-se enchimentos constituídos por material rochoso e argila resultante da meteorização e desagregação das litologias menos competentes. No local 2, pelo contrário, destacam-se algumas superfícies preenchidas por filonetes de quartzo e, na base da arriba, por areia. Assinala-se ainda que o enchimento de quartzo é particularmente associado às diaclases mais abertas e persistentes. No local 3 verifica-se igualmente a existência de algumas fendas de tracção preenchidas por quartzo ao longo de toda a sua extensão.

As paredes das descontinuidades apresentam, no geral, irregularidades a várias escalas cuja quantificação e mesmo a qualificação se revela bastante difícil. No local 2 a rugosidade que predomina nos diferentes sistemas de descontinuidades é de tipo R_3 a $R_{4,5}$, sendo que esta última está associada à granulometria mais grosseira destes turbiditos. Nas restantes arribas predomina a rugosidade de tipo R_3 . Em locais mais afectados pela rede de fracturação verificam-se algumas diaclases com rugosidade $R_{4,5}$, sendo que na base da arriba do local 4, principalmente a oeste do cone de detritos, desenvolvem-se algumas superfícies estimadas em $R_{1,2}$ em função da predominância de xistos resistentes de fácies pouco grosseira.

O grau de meteorização das paredes das descontinuidades está, de certo modo, relacionado com o estado de meteorização do material rochoso. Verifica-se que as paredes de descontinuidades se encontram mais frescas no local 2, onde a meteorização do maciço rochoso é menos incisiva e as paredes mais rugosas. Pelo contrário, as paredes das superfícies observadas nas restantes arribas exibem um grau de meteorização mais elevado (descoloradas a desintegradas) em função do afloramento, na face da arriba, de níveis xistentos menos resistentes e, portanto, mais susceptíveis aos agentes erosivos.

7.2.4. Ensaio *in situ*: dureza ao ressalto com martelo de Schmidt

A determinação da resistência à carga pontual *in situ* foi efectuada com recurso ao martelo de Schmidt de tipo L, com uma energia de impacto de 0,735 N.m. O ensaio foi realizado em vários locais na base das arribas tendo-se seguido o procedimento descrito pela ISRM (1981) que recomenda a aplicação do dispositivo na perpendicular à superfície de ensaio.

As litologias ensaiadas foram os grauvaques e os xistos basais de tonalidade mais escura. As intercalações pelíticas mais argilosas, devido ao seu elevado estado de meteorização (W_{4-5}), não evidenciaram qualquer dureza ao ressalto mensurável. Assim, efectuaram-se nove estações para realização dos ensaios de campo.

Adquirido o valor de dureza ao ressalto (R_L), é possível obter-se uma medida da resistência à compressão uniaxial da rocha ou, no caso de ensaio sobre superfícies de descontinuidade, da resistência das suas paredes (JCS), segundo metodologia proposta por Deere & Miller (1966 *in* Hoek, 2007). Na aplicação do ábaco de Miller (Figura 5.2, à direita) o peso volúmico aparente (γ_a) foi estimado com base no estado de meteorização da superfície ensaiada de acordo com a Tabela 5.4. A excepção corresponde às estações 1,2,3,5 e 6, em que γ_a foi determinado directamente em laboratório. Refira-se que na apresentação dos resultados é utilizada a classificação proposta pela ISRM (1981) para a RCU (Tabela 3.10). A direcção de aplicação da carga é indicada em termos de inclinação do martelo com o plano horizontal (0°).

Reitera-se que a presença de planos de fraqueza estrutural (rede de fracturação, planos de xistosidade e laminações) influencia fortemente as respostas obtidas neste ensaio. Aydin (2009) refere que em maciços rochosos fortemente anisótropos R_L tende a decrescer quando a direcção de impacto do martelo é normal a quaisquer planos de baixa resistência. É ainda importante ter em consideração que este ensaio é pouco preciso e em rocha intacta tende a sobrestimar os valores de RCU pelo que os resultados obtidos devem sempre ser objecto de uma análise crítica.

Tabela 7.12 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza ao ressalto com recurso ao martelo de *Schmidt* nas arribas da praia da Zambujeira do Mar

Estação	Local	Inclinação do martelo (°)	Litologia	Estado de meteorização	Leitura n°										Média dos 5 melhores resultados	RCU (MPa)	Classificação ISRM (1981)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	3	90	Grauvaque	W ₁₋₂	41	41	34	37	43	38	40	42	43	38	42	87	S ₂
2	4	0	Grauvaque	W ₁₋₂	56	47	51	47	48	38	46	47	45	46	50	125	S ₂
3	4	0	Grauvaque	W ₁₋₂	65	63	56	64	61	61	64	60	61	64	64	230	S ₁
4	4	90	Xisto negro	W ₁₋₂	33	43	32	54	24	45	48	34	25	36	45	103	S ₂
5	4	0	Grauvaque	W ₁₋₂	36	49	36	37	48	38	37	47	49	49	48	108	S ₂
6	4	0	Grauvaque	W ₁₋₂	51	50	57	60	52	59	60	57	53	53	59	195	S ₂
7	3	45	Xisto negro	W ₁₋₂	32	20	24	22	24	20	24	19	22	21	25	48	S ₃
8	2	45	Grauvaque	W ₁₋₂	50	39	50	40	51	42	47	43	47	43	49	148	S ₂
9	2	0	Grauvaque	W ₂	24	38	24	36	34	30	40	44	41	35	40	68	S ₂

Valor médio (MPa)	
Grauvaques (Local 3+4)	149
Xistos negros (Local 3+4)	75,5
Grauvaques (Local 2)	108

Pela análise dos resultados obtidos constata-se que os grauvaques pouco alterados (W_{1-2}) apresentam elevados valores de resistência à compressão uniaxial (S_2 a S_1) nas três arribas avaliadas. Os valores mais elevados (S_1) foram registados nas estações 3 e 6, onde se ensaiou um plano normal à face da arriba norte (local 4).

Na estação nº9 foi ensaiado um plano que verificou o valor mais reduzido obtido nesta litologia (68 MPa), sendo que esta diminuição na resistência deverá ser função da elevada frequência local da família F_1 . Dado que o ensaio foi realizado perpendicularmente a esta família, as diaclases mais próximas do ponto de ensaio, não fechadas, terão absorvido uma fracção da energia do impacto, como se pôde verificar pela projecção de partículas arenosas provenientes do enchimento das referidas diaclases. Os menores resultados foram obtidos nas estações 4 e 7, sendo que nesta última a RCU obtida (48 MPa) é classificada como S_3 .

Em geral os resultados obtidos podem considerar-se como relativamente elevados tendo em conta a geralmente elevada fracturação nas litologias ensaiadas. No entanto, a presença de material de enchimento de elevada resistência (quartzo) pode constituir uma explicação para estes resultados dado que eleva a resistência global da rocha.

7.2.5. Amostragem

Um programa de investigação laboratorial, apesar de menos prático e mais oneroso, deve constituir parte integrante de qualquer projecto de engenharia. Neste contexto foram realizados alguns ensaios de caracterização com o objectivo de validar os valores obtidos pela recolha bibliográfica e investigação *in situ*. A avaliação laboratorial de vários parâmetros essenciais às análises de estabilidade e classificações geomecânicas utilizadas traduz-se numa maior fiabilidade nos resultados obtidos, aumentando a segurança na execução de eventuais projectos de estabilização.

Assim, dos dois blocos de grauvaque recolhidos na base do local 3 na praia da Zambujeira do Mar foram caroteados 11 provetes cilíndricos, regularizados em serra diamantada, que foram sujeitos a caracterização laboratorial. Os provetes são, nesta avaliação, identificados como A (1-6) e B (1-5), de acordo com o bloco de onde foram extraídos.

7.2.6. Peso volúmico aparente (γ_a)

A determinação deste parâmetro foi realizada com recurso à técnica do provete regular sendo que, para este efeito, todas as amostras foram sujeitas a um metódico processo de preparação. O mesmo consistiu em limpeza e lavagem de forma a retirar quaisquer impurezas resultantes do desgaste provocado pela carotagem que induzissem em erro na determinação das dimensões, seguidos de secagem na estufa e arrefecimento no exsiccador. Foi então efectuada a pesagem e determinação do

comprimento (L) e diâmetro (D_p) médios (secos), tendo sido realizadas três leituras para cada dimensão. Os resultados são apresentados na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 – Avaliação de γ_a com recurso à técnica do provete regular

Provete	Massa seca (g)	L seco (cm)	D seco (cm)	γ_a (kN/m ³)
A1	577,56	11,48	5,00	25,14
A2	642,69	12,71	5,00	25,26
A3	645,60	13,06	5,00	24,70
A4	682,94	13,58	5,00	25,12
A5	662,95	13,14	5,00	25,21
A6	645,66	12,78	5,00	25,23
B1	557,67	11,14	5,00	25,00
B2	353,74	7,06	5,00	25,02
B3	213,56	4,29	5,00	24,89
B4	228,37	4,69	5,00	24,33
B5	450,32	8,97	5,00	25,10
Valor médio				25,0

Apesar da menor fiabilidade deste método relativamente ao proposto pela ISRM (1979), que recomenda a utilização de técnicas de saturação e pesagem hidrostática, verifica-se que os valores obtidos são concordantes com os resultados de Pinho (2003) e Fontinhas (2012), para grauvaques do GFBA, pelo que se consideram como aceitáveis.

7.2.7. Determinação de ϕ_b em mesa basculante (*tilt test*)

Em análises de estabilidade de taludes rochosos é extremamente importante uma correcta caracterização do comportamento mecânico das descontinuidades que compartmentam o maciço rochoso. Em planos totalmente limpos com ausência de enchimento este comportamento é controlado por ϕ que, a baixas tensões normais, é função da soma de ϕ_b e do parâmetro i que traduz a influência da rugosidade, como já referido em 3.1. Neste contexto uma medida de ϕ_b foi obtida em ensaio de deslizamento com recurso a uma plataforma de inclinação progressiva e elevação manual, cuja concepção é adaptada do trabalho de Bruce *et al.*, (1989). Assim utilizaram-se 25 combinações de 3 provetes cilíndricos em arranjo piramidal, cujo processo de carotagem cria superfícies pré-cortadas e lisas adequadas para determinação da parcela ϕ_b , segundo recomendações e procedimento descrito por Stimpson (1981). Um exemplo de disposição e sequência de ensaio apresenta-se na Figura 7.20.



Figura 7.20– Exemplo e sequência de ensaio de acordo com o procedimento descrito por Stimpson (1981).

Após ocorrência de deslizamento (Figura 7.20, à direita) do provete superior sobre os contactos lineares com os dois provetes que lhe servem de base, é registado o ângulo de inclinação da mesa basculante (ψ) através do transferidor de aço coaxial com as dobradiças da prancha, obtendo-se ϕ_b de acordo com a equação [7.1]. Os resultados são apresentados na Tabela 7.14.

$$\phi_b = \arctg (1,155 \times tg (\psi)) \quad [7.1]$$

Tabela 7.14 – Valores de ϕ_b obtidos pelo ensaio de *tilt test*.

Ensaio	ψ (°)	ϕ_b (°)	Ensaio	ψ (°)	ϕ_b (°)
1	35,5	39,48	14	40	44,10
2	37	41,03	15	37	41,03
3	36	40,00	16	35	38,96
4	38	42,06	17	40	44,10
5	36	40,00	18	34	37,92
6	39	43,09	19	36	40,00
7	36	40,00	20	40	44,10
8	36	40,00	21	41	45,12
9	41	45,12	22	38	42,06
10	39	43,09	23	37	41,03
11	35	38,96	24	38	42,06
12	34	37,92	25	38	42,06
13	38	42,06	26	38	42,06
Valor médio			41,4°		

Verifica-se que estes valores estão de acordo com os resultados obtidos por Pinho (2003) que realizou dois ensaios de deslizamento de diaclases sobre grauvaques da Formação da Brejeira (H_{Br}) obtidos de sondagem realizada na barragem do Funcho (Tabela 7.15)

Tabela 7.15 – Resultados obtidos em ensaios de deslizamento de diaclases efectuados em grauvaques (Pinho, 2003)

Amostra	c_a (kPa)	ϕ (°)
F1.1	102	35,8
F3.2	162	43,9

7.2.8. Resistência à rotura em compressão uniaxial

Este ensaio permite a determinação laboratorial da resistência não confinada de provetes de rocha intacta. O ensaio consiste em levar à rotura, mediante aplicação de uma força axial compressiva, um provete geometricamente regular sendo que, em ensaios padrão, a magnitude e velocidade de

aplicação da força são controladas pelo operador. Para este efeito foi utilizada uma prensa hidráulica SEIDNER, com capacidade máxima de carga de 1000 kN (Figura 7.21).

A ocorrência de descontinuidades não inventariadas nos provetes ensaiados, por regra com a dimensão da fissura ou microfissura, é um dos factores que podem comprometer a validade dos resultados. A presença de planos de anisotropia pode conduzir a uma subestimação dos resultados que, em casos extremos, tendem para o valor da resistência ao corte ao longo da descontinuidade, deixando de ser representativo da resistência da rocha intacta. A influência da anisotropia é particularmente amplificada quando os planos de descontinuidade são orientados obliquamente à direcção de aplicação da carga, que constitui o caso mais desfavorável. Os ensaios podem ainda ser influenciados por outros factores inerentes à natureza e estrutura da rocha, assim como as condições de ensaio, como descreve Gomes (2011).



Figura 7.21 – Disposição de ensaio com colocação do provete (A4) na prensa hidráulica.

O valor da resistência à rotura por compressão uniaxial do provete (σ_c) é dado pela equação [7.2] que relaciona a força aplicada na rotura (F_c) com a sua área de aplicação (A_c) (Rocha, 1981):

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_c} \quad [7.2]$$

Este ensaio permite ainda caracterizar laboratorialmente as constantes elásticas da rocha intacta, nomeadamente o módulo de *Young* (E) e coeficiente de *Poisson* (ν). No entanto, tendo em conta os objectivos deste trabalho, tal não se considerou imperativo.

O procedimento adoptado segue as recomendações da ASTM (2007), tendo sido ensaiados 8 provetes a saber: A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1 e B5. Os restantes provetes, não verificando uma relação L/D_p

dentro dos valores recomendados pela norma mencionada (entre 2 e 3), não foram sujeitos a ensaio. Relativamente a B5, apesar das suas dimensões se encontrarem muito ligeiramente fora do intervalo de valores referido, o limitado número de provetes adequados para ensaio levou à opção de aproveitar para ensaio o referido provete. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.16.

Tabela 7.16 – Resultados obtidos pelos ensaios laboratoriais de resistência à rotura por compressão uniaxial

Provete	F _c (kN)	A _c (cm ²)	σ _c (MPa)	Observações
A1	113	19,63	57,55	-
A2	160	19,63	81,49	
A3	112	19,63	57,04	
A4	162,5	19,63	82,76	
A5	144	19,63	73,34	
A6	86	19,63	43,80	
B1	71	19,63	36,16	Valores extremos
B5	263	19,63	133,94	
Valor médio			66,0	

Como referido anteriormente a obtenção de provetes de rocha “intacta” nesta litologia revelou-se manifestamente difícil devido à presença de inúmeras superfícies de descontinuidade com diversas orientações nos blocos sujeitos a caroteamento. Assim, tendo em conta a presença destas superfícies na maioria dos provetes sujeitos a ensaio, efectua-se uma análise crítica dos resultados obtidos de forma a minimizar o erro associado à influência destas estruturas.

Neste contexto verifica-se que a maioria dos resultados é incluída no intervalo de $\sigma_c = 60 - 80$ MPa. Os provetes B1 e B5, pelo contrário, verificaram valores bastante fora deste intervalo e constituem um excelente exemplo da influência que a presença de planos de anisotropia no provete tem sobre a resistência à compressão uniaxial do mesmo. O provete B1 (Figura 7.22, à esquerda) foi ensaiado com F_c aproximadamente paralela a uma superfície de fraqueza sem preenchimento e muito persistentes, tendo-se verificado durante o ensaio que a rotura se deu ao longo deste plano. O provete B5 (Figura 7.22, à direita) encontrava-se intersectado por algumas superfícies preenchidas por quartzo com ângulo de cerca de 30° em relação à aplicação da força F_c , verificando o valor extremo mais elevado de σ_c obtido (133,94 MPa).

De acordo com a gama de resultados obtida, o provete B1 representa um valor de resistência subestimado pela presença dos planos de fraqueza sendo que no caso de B5 o quartzo (mais resistente que a rocha intacta) sobrestima os resultados obtidos. Estes resultados (extremos) são, assim, desprezados de acordo com a norma utilizada (ASTM, 2007). Reitera-se, no entanto, a necessidade de realização de mais ensaios de compressão uniaxial em laboratório de modo a aferir a representatividade desta análise.

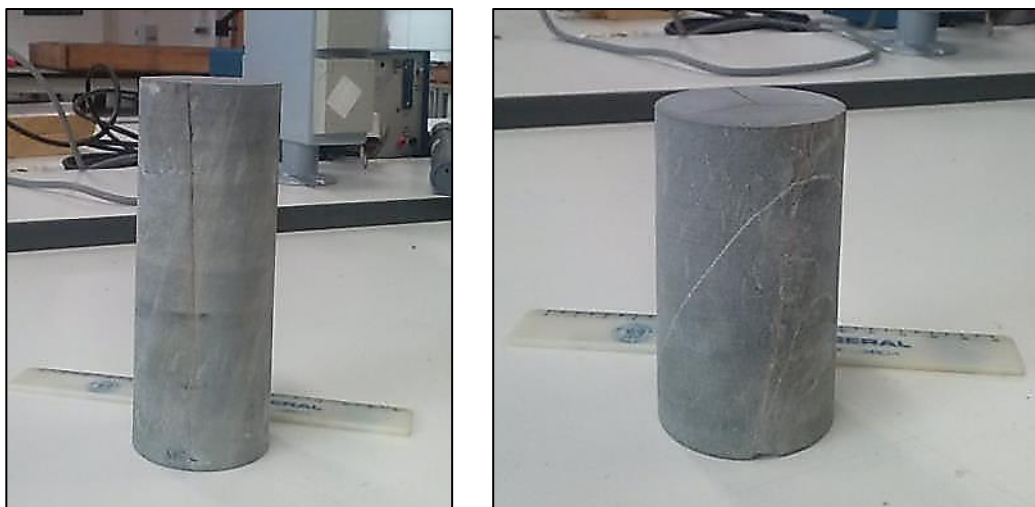


Figura 7.22 – Planos de anisotropia em provetes submetidos a ensaio. À esquerda: B1; À direita: B5

Comparando agora os ensaios na prensa com os ensaios de campo, verifica-se que os resultados obtidos são relativamente inferiores aos 149 MPa estimados pelo martelo de *Schmidt* para os grauvaques dos locais 3 e 4 (Tabela 7.12), sendo que só o provete B5 se aproxima da referida ordem de grandeza. É, no entanto, de recordar que a utilização do ábaco de *Miller*, para além do erro associado à avaliação gráfica, apresenta uma dispersão entre 50 e 100 MPa. Assim, considerando estes valores de dispersão chega-se a um resultado já muito próximo da gama de valores obtidos em laboratório.

Assim, para efeitos de cálculo e tendo em conta os resultados obtidos, considera-se a média destes nos provetes A (1-6) como valor aproximado para a RCU dos grauvaques “íntactos” aflorantes nos locais 3 e 4 da praia da Zambujeira do Mar. Refira-se ainda que este valor está de acordo com os resultados obtidos nos trabalhos de Pinho (2003) e Fontinhas (2012) para grauvaques do GFBA.

7.2.9. Aplicação do índice RQD e cálculo do volume dos blocos

Tendo em conta os pontos indicados no capítulo 3.4.2, são apresentados na Tabela 7.17 os resultados do cálculo do índice RQD e da verificação volumétrica dos blocos nas arribas da praia da Zambujeira do Mar. Refira-se que este parâmetro é bastante sensível à orientação de recolha dos dados que, neste trabalho, corresponde à orientação das *scanlines* realizadas (Figura 7.23).

Neste contexto o espaçamento total (S) considerado é baseado nas *scanlines* consecutivas nºs 1 e 2 para o local 2, nºs 3 e 4 para o local 3 e nºs 7 e 8 para o local 4. Estes resultados referem-se à direcção paralela à da frente de cada trecho de arriba.

Tabela 7.17 – Cálculo do índice RQD e quantificação do tamanho médio dos blocos (V_b) na direcção paralela à face das arribas

Local	S (m)	λ (m ⁻¹)	RQD (%)	J_v	β	V_b (m ³)	Classificação de V_b
2	0,21	4,8	91,7	7,1	45	0,13	Médio
3	0,22	4,5	92,3	6,9	55	0,17	Médio
4	0,36	2,8	96,8	5,5	55	0,33	Grande

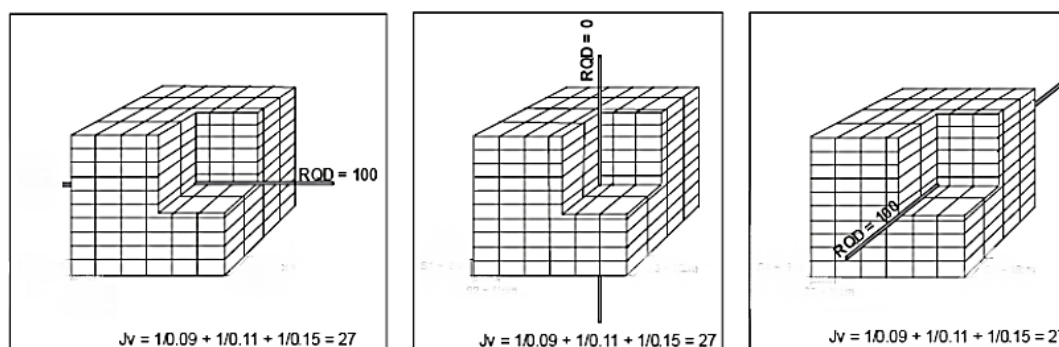


Figura 7.23 – Variação nos valores de RQD consoante a direcção de inventariação num mesmo maciço rochoso (Palmström, 2005).

Os resultados obtidos devem ser objecto de uma avaliação cuidada, nomeadamente nas zonas mais xistosas e meteorizadas, em que a ocorrência de planos de xistosidade não fechada poderá reduzir a qualidade geral do maciço. Os valores de V_b são válidos nomeadamente para as zonas superiores da arriba, onde a maior expressão dos grauvaques, que se apresentam em bancadas muito mais espessas e não afectados pela xistosidade, permite a individualização de blocos de maior dimensão. Para avaliar esta hipótese mediu-se o volume de quinze blocos grauvacóides na base da arriba no local 3, verificando-se um volume de aproximadamente 0,22 m³ para o bloco de maiores dimensões (Figura 7.24).



Figura 7.24 – Bloco grauvacóide de volume estimado 0,22 m³ na base do local 3. Escala: Régua de 30 cm

Deverá ter-se em conta, no entanto, que estes blocos poderão ter resultado da fragmentação de elementos de maiores dimensões, inicialmente destacados da arriba, ao impactarem com o solo.

Verifica-se também que apesar de não se ter avaliado uma direcção perpendicular à frente da arriba no local 2, a possança das bancadas turbidíticas grosseiras (L_3) é da mesma ordem de grandeza do espaçamento da fracturação, pelo que a influência de eventuais planos de estratificação não fechados no cálculo de λ e RQD será, neste caso, reduzida. Esta suposição é validada pelo valor de V_b obtido, que se assemelha ao volume de alguns blocos destacados cujas dimensões foram medidas e registadas no campo.

7.2.10. Aplicação do índice GSI

Algumas das classificações geomecânicas de maciços rochosos mais utilizadas em estudos geológico-geotécnicos, nomeadamente as classificações para obtenção dos índices RMR (Bieniawski, 1973 *in* Bieniawski, 1989), SMR (Romana, 1993) e Q (Barton *et al.*, 1974 *in* Palmström & Broch, 2006) são fortemente dependentes do RQD. Assim, na presença de maciços rochosos caracterizados por valores de RQD de rigor discutível, como é o caso das zonas essencialmente xistosas e meteorizadas dos locais 3 e 4 da praia da Zambujeira do Mar, a aplicação daquelas classificações não é recomendada.

Nestes locais a presença da xistosidade traduz-se, à partida, num comportamento mecânico tendencialmente anisotrópico do maciço em virtude da resistência destas superfícies ser uma ou mais ordens de grandeza inferior à do material rocha. Tendo em conta a elevada densidade de fracturação promovida pelas famílias de diaclasamento pode-se considerar, no entanto, que a continuidade estrutural destas superfícies de baixa resistência é interrompida, como aliás se verifica pelas placas de pequena dimensão completamente destacadas nos xistos. Tal situação, em conjunto com a forte meteorização desta litologia, poderá traduzir-se numa tendência para uma resposta pontualmente isotrópica do maciço relativamente a quaisquer cargas aplicadas (Marinos & Hoek, 2001).

Complementarmente, não se observam muitos sinais de rotura controlada por planos de descontinuidade nestas zonas, sendo aliás para o topo das arribas que ocorre uma maior incidência desta fenomenologia. Este facto pode ser explicado pela maior representatividade das bancadas grauvacóides que potenciam o aumento da resistência local do maciço rochoso.

Como referido anteriormente, Marinos & Hoek (*op.cit.*) admitem, para a determinação do GSI, um caso particular de maciço heterogéneo onde poderá ocorrer rotura controlada estruturalmente (classe A). Em concordância com as observações de campo optou-se por enquadrar o maciço essencialmente grauvacóide do local 2 nesta classe (Figura 7.25), sendo que aos locais 3 e 4 é atribuída a classe E (Figura 7.26). Os resultados são apresentados na Tabela 7.18.



Figura 7.25 – Aspecto do maciço rochoso no local 2 e comparação com a estrutura da classe A, definida por Marinos & Hoek, (2001)



Figura 7.26 – Aspecto do maciço rochoso no local 4 e comparação com a estrutura da classe E, definida por Marinos & Hoek, (2001)

De forma a não perder objectividade na presente análise, e como recomendado pelos autores, optou-se por estimar o GSI como um intervalo de valores e não um valor único. Esta metodologia pretende reflectir a elevada variabilidade associada à condição das descontinuidades inventariadas no campo, particularmente em termos de rugosidade e estado de meteorização das paredes que apresentam valores muito díspares, mesmo ao longo da mesma *scanline*.

Tabela 7.18 – Avaliação do índice GSI para as arribas nos locais 2 e 3 e 4

Local	Estrutura	Condição das descontinuidades	GSI
2	Bancadas decimétricas de turbiditos grosseiros de fácies predominantemente grauvacóide. 5 famílias principais de descontinuidades e aleatórias.	Paredes rugosas e ligeiramente meteorizadas	55±5
	Classe A	Boa qualidade	
3	Bancadas de xistos argilosos de baixa resistência alternando com estratos de grauvaque. 4 famílias principais de descontinuidades e aleatórias.	Em geral paredes moderadamente rugosas e meteorizadas	30±5
	Classe E	Média qualidade	
4	Bancadas de xistos argilosos de baixa resistência alternando com estratos de grauvaque. 3 famílias principais de descontinuidades e aleatórias.	Em geral paredes pouco a moderadamente rugosas e meteorizadas	35±5
	Classe E	<u>Média</u> a boa qualidade	

7.2.11. Avaliação das características mecânicas do maciço rochoso

Como referido em 3.4.3 a utilização do critério de rotura de Hoek–Brown permite estimar uma medida das propriedades de resistência e deformabilidade à escala do maciço rochoso com base em relações empíricas propostas e revistas em Hoek *et al.*, (2002). Considerando que o maciço rochoso apresenta pontualmente comportamento isotrópico, a aplicação destas expressões pode ser feita com base nos seguintes parâmetros:

- Resistência à compressão uniaxial dos elementos de rocha intacta que compõem o maciço rochoso (σ_{ci});
- Uma constante m_i associada às características friccionais dos elementos rochosos, função principalmente da sua mineralogia;
- O valor do índice GSI para o maciço rochoso;
- Factor de perturbação (D) associado ao grau de perturbação a que o maciço se encontra (ou terá sido) sujeito;

A avaliação da RCU de maciços rochosos típicos de *Flysch* pode ser feita com base em ensaios de compressão uniaxial clássicos. No entanto a presença de planos de xistosidade, estratificação e fracturação tornam a recolha de amostras consideradas intactas extremamente difícil. Da presença

destes planos de fraqueza nas amostras ensaiadas resulta que o valor de σ_{ci} obtido será bastante subestimado e portanto não deve ser usado para o cálculo final (Marinos & Hoek, 2001).

Na avaliação da σ_{ci} deverá ter-se em consideração a influência que a alternância de litologias mais e menos competentes, terá na resistência global do mesmo. Considerando o maciço rochoso como uma alternância de xistos e grauvaques é necessário estimar um valor de σ_{ci} para ambas as litologias. Relativamente aos grauvaques (σ_{ciG}) optou-se por utilizar a média dos resultados considerados em laboratório, tendo-se obtido o valor final de 66,0 MPa que é considerado representativo. A σ_{ci} dos níveis xistentos (σ_{ciX}), não se tendo conseguido obter uma medida com o martelo de *Schmidt*, foi obtida com base em técnicas expeditas de campo de acordo com a proposta de Hoek & Brown (1997) que se apresenta na Tabela 7.19. Tendo em conta as observações de campo, é assim adoptado o valor médio de 0,5 MPa para as laminações pelíticas.

Tabela 7.19 – Estimativa da RCU em rocha intacta com recurso a técnicas expeditas de campo (adaptado de Hoek & Brown, 1997)

Classe	RCU (MPa)	Descrição
Extremamente resistente	> 250	Amostra só pode ser lascada com martelo de geólogo.
Muito resistente	100 – 250	Fracturação da amostra após múltiplos golpes com martelo de geólogo.
Resistente	50 – 100	Fracturação da amostra no mínimo com dois golpes do martelo de geólogo.
Moderadamente resistente	25 – 50	Fracturação após um único golpe com martelo de geólogo.
Fraco	5 – 25	Golpes com bico de martelo de geólogo deixam orifícios superficiais; Amostra pode ser marcada com canivete com dificuldade.
Muito fraco	1 – 5	Fragmentação da amostra mediante golpes com bico de martelo de geólogo; É facilmente marcada por canivete.
Extremamente fraco	0,25 – 1	Amostra é riscada pela unha.

Ao considerar unicamente os valores obtidos para grauvaque, existe o perigo de sobrestimar a qualidade do maciço rochoso devido à presença das superfícies de baixa resistência que diminuem o contacto entre blocos de grauvaque. Pelo contrário, a utilização dos valores para xisto traduzir-se-á numa análise demasiado conservativa dada a presença de litologias cuja resistência é várias ordens de grandeza superior.

Marinos & Hoek, (*op. cit.*) propõem o cálculo de uma média ponderada com base no tipo de estrutura adoptado para o índice GSI. Assim, no caso da classe E tem-se que:

$$\sigma_{ci} = \frac{0,6 \sigma_{ciG} + \sigma_{ciX}}{2} \quad [7.3]$$

Pelo que, com base neste critério, o valor estimado de σ_{ci} para o maciço rochoso nos locais 3 e 4 será de 20,3 MPa. Relativamente ao local 2 não se considera necessária a aplicação desta metodologia uma vez que a arriba é aí talhada quase unicamente em turbiditos grosseiros, pelo que se considera neste caso o valor de 108 MPa obtido nos trabalhos de campo.

A avaliação do parâmetro m_i deverá ser preferencialmente feita através da realização de ensaios triaxiais (Hoek & Brown, 1997). No entanto esta metodologia implica as mesmas dificuldades associadas à amostragem e ensaio de meios heterogéneos, já identificadas para o ensaio de compressão uniaxial. Para estimativa deste parâmetro foi utilizada a proposta de Marinos & Hoek, (2001) que, através da realização de numerosos ensaios triaxiais sobre amostras intactas, generaliza uma gama de valores de m_i para vários tipos de rocha (Anexo II). Tendo em conta os principais materiais rochosos que constituem o maciço, considera-se um valor de m_i de 12 ± 4 para os locais 3 e 4 e de 18 ± 3 para o local 2.

O factor de perturbação D é, segundo Hoek *et al.*, (2002), normalmente associado ao tipo de processo de desmonte e respectivo controlo de qualidade utilizado na escavação de um maciço rochoso para qualquer projecto de engenharia (Anexo II). No caso de estudo a principal perturbação induzida ao maciço rochoso provém da subscavação por acção marinha na base das arribas, o que é se aproxima da situação aventada pelos autores na qual a escavação é feita por meios manuais ou mecânicos, sem recurso a explosivos. Assim, para efeitos de cálculo considera-se que o grau de perturbação é nulo ($D=0,7$).

A análise dos parâmetros resistentes do maciço rochoso é feita com recurso ao *software RocLab*® da *Rocscience Inc*, baseado na última versão do critério de rotura de Hoek–Brown, datada de 2002 (Eberhardt, 2012):

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma'_1} + s \right)^a \quad [7.4]$$

Em que σ'_1 e σ'_3 correspondem às tensões efectivas principal e de confinamento na rotura, respectivamente.

Para este efeito, para além da RCU obtida com base na equação [7.3], recorreu-se aos valores médios de GSI e m_i definidos anteriormente para aplicação das relações integradas no mesmo critério, obtendo-se as constantes empíricas m_b , s e a . Estes dados foram então traduzidos em termos de coesão e ângulo de atrito a partir de relações baseadas na regressão linear da curva obtida por resolução da equação [7.4] para um intervalo de tensões entre σ_t (tensão correspondente à resistência à tracção) e σ'_{3max} (tensão efectiva de confinamento máxima), conforme explicado por Hoek *et al.*, (2002).

Os mesmos autores definem a resistência global do maciço rochoso (*global rock mass strength*) - σ'_{cm} , um conceito que pretende traduzir a resistência compressiva geral do sistema rocha intacta/descontinuidades. Os resultados são apresentados nas Tabelas 7.20 e 7.21.

Tabela 7.20 – Resultados obtidos pela avaliação realizada como *software RocLab®*.

Local	Dados (<i>input</i>)				Critério de Mohr – Coulomb (<i>output</i>)	
	σ_{ci} (MPa)	D	m_i	GSI	c (MPa)	ϕ (°)
2	108	0,7	18	55	5,137	29,73
3	20,3	0,7	12	30	0,445	16,25
4				35	0,515	18,17

Tabela 7.21 – Parâmetros do maciço rochoso nos locais 2, 3 e 4 da praia da Zambuieira do Mar obtidos com o *software RocLab®*

Local	σ_t (MPa)	σ'_{cm} (MPa)	σ_c (MPa)	E (MPa)
2	-0,105	17,698	4,034	5580,99
3	-0,003	1,187	0,100	485,50
4	-0,005	1,422	0,155	604,79

Apresenta-se, como exemplo, o gráfico tensão normal (σ_n) – tensão de corte (τ) para o local 4 com a representação da curva obtida pela aplicação da equação [7.4] e a correspondente envolvente de Mohr-Coulomb (Figura 7.27)

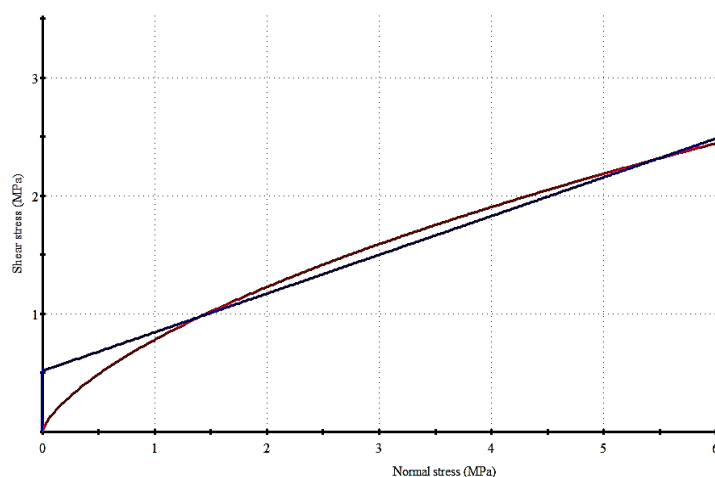


Figura 7.27 – Representação gráfica (*Roclab®*) da aplicação do critério de Hoek-Brown (a vermelho) e aproximação de Mohr-Coulomb (a azul) referentes ao maciço rochoso do local 4

Pode-se verificar que, para todos os parâmetros mecânicos obtidos, verifica-se uma diferença de uma ordem de grandeza entre o local 2 e os locais 3 e 4, justificada pela predominância de grauvaques praticamente são afectados por fracturas de paredes rugosas e pouco meteorizadas. Considera-se, no entanto, que os valores obtidos para os locais 3 e 4 são demasiado reduzidos tendo em conta a elevada altura das arribas. Ter-se-á, portanto subestimado a contribuição dos grauvaques em zonas em que a estrutura da arriba não é totalmente concordante com a classe E, nomeadamente devido à presença de zonas com maior presença de camadas de grauvaque.

Os parâmetros de resistência ao corte do maciço rochoso têm tendência a diminuir aquando da ocorrência de água. No caso do maciço rochoso avaliado este efeito é potenciado pela presença de material rochoso particularmente susceptível a maiores variações do teor em água, como é o caso dos níveis mais pelíticos. Acrescente-se que a existência de descontinuidades com enchimentos argilosos é igualmente desfavorável devido à rápida desintegração deste material em função da expansão e retracção dos minerais de argila derivados da alternância entre condições secas e húmidas. Tendo em conta que os trabalhos de campo se realizaram durante a estação seca, parte-se do pressuposto que os resultados obtidos pela análise realizada reflectem a ausência de água no maciço e não correspondem, portanto, às condições de análise mais desfavoráveis.

7.2.12. Descrição do maciço rochoso pela BGD

Tendo em conta as observações de campo os resultados obtidos pela amostragem de superfícies de descontinuidade e pelos ensaios com martelo de *Schmidt* e laboratoriais efectuados, foi aplicada a classificação BGD ao maciço rochoso talhado pelas arribas da praia da Zambujeira do Mar (Tabela 7.22). Refira-se que os parâmetros geométricos (espaçamento entre fracturas e espessura de camadas) são baseados nas medições realizadas a partir das diversas *scanlines*. Relativamente aos parâmetros mecânicos, a RCU é estimada *in situ* e em laboratório, sendo que o ângulo de atrito entre superfícies é estimado pela classificação de Rocha (1976) e pelos resultados dos *Tilt Test*. Refira-se ainda que, apesar de apresentada em primeiro lugar, esta classificação é a última a ser implementada uma vez que são utilizados elementos obtidos do cálculo baseado no critério de rotura de Hoek & Brown (capítulo 7.2.11).

Na Tabela 7.23 apresenta-se a metodologia utilizada no cálculo de cada parâmetro para as várias zonas, com base nas diferentes técnicas de caracterização geológico-geotécnica implementadas neste trabalho. A delimitação de cada zona do maciço rochoso é apresentada nas Figuras 7.28, 7.29 e 7.30, correspondentes respectivamente aos locais 2, 3 e 4 da praia da Zambujeira do Mar. É conveniente referir que esta classificação, apesar da tentativa de quantificar a maioria dos parâmetros, tem carácter preliminar e pretende ilustrar uma primeira aproximação ao comportamento mecânico do maciço rochoso.

Tabela 7.22 – Aplicação da BGD ao maciço rochoso na praia da Zambujeira do Mar

Zonas	Caracterização (ISRM, 1981)	Descrição geológica suplementar
I	Grauvaque e xisto L ₃ ; F ₃ ; S ₂ ; A ₂ (W ₃)	Grauvaques de grão grosseiro moderadamente meteorizados, como é evidenciado pelo seu tom amarelado (descoloração), intercalados com alguns níveis xistentos e dispostos em bancadas de espessura mediana (20 - 60 cm). As fracturas encontram-se por vezes preenchidas por material argiloso.
II	Grauvaque L ₃ ; F ₃ ; S ₂ ; A ₃ (W ₁₋₂)	Maciço turbidítico de fácies predominantemente grauvacóide e granulometria grosseira. As discontinuidades apresentam-se próximas a moderadamente afastadas, por vezes com enchimento de quartzo. Os grauvaques, de cor cinzenta, dispõem-se em bancadas relativamente espessas (20 - 60 cm), por vezes finamente laminadas (L ₄₋₅). A rocha é muito pouco meteorizada e muito resistente.
III	Xisto negro L ₄₋₅ ; F ₂ ; S ₂ ; A ₄ (W ₁₋₂)	Xistos parcialmente grauvacóides de cor negra, fina granulometria e elevada resistência. Encontram-se pouco meteorizados e dispõem-se em bancadas pouco espessas (L ₄₋₅).
IV	Xisto cinzento e grauvaque L ₄₋₅ ; F ₃ ; S ₃ ; A ₄₋₅ (W ₅)	Maciço rochoso constituído por xistos cinzentos argilosos finamente estratificados de muito baixa resistência e muito meteorizados intercalados com níveis de grauvaque de granulometria fina e diferentes graus de meteorização. As fracturas são classificadas como próximas a moderadamente afastadas, por vezes com preenchimento argiloso.
V	-	Material de cobertura detrítico pouco consolidado

Tabela 7.23 – Técnicas e resultados utilizados na quantificação dos parâmetros da BGD

Zonas	Parâmetros	Scanline (nº)	Martelo Schmidt (estação)	Tilt Test	RCU (lab.)	Valor médio	BGD
I	Espessura das camadas (cm)	(2)				-	L ₃
	Espaçamento entre fracturas (cm)	(3)				28,9	F ₃
	RCU (MPa)		–		A(1-6)	70,4	S ₂
	ϕ (º)			[1;26]		41,4	A ₂
II	Espessura das camadas (cm)	1;2				–	L ₃ (1)
	Espaçamento entre fracturas (cm)	1;2				21,4	F ₃
	RCU (MPa)		8;9		–	108	S ₂
	ϕ (º)			–		30–35	A ₃
III	Espessura das camadas (cm)	9				-	L ₄₋₅
	Espaçamento entre fracturas (cm)	9				68,3	F ₃
	RCU (MPa)		4;7		–	75,5	S ₂
	ϕ (º)			–		25	A ₄
IV	Espessura das camadas (cm)	3;4;5;6;7,8				-	L ₄₋₅
	Espaçamento entre fracturas (cm)	3;4;5;6;7,8				28,9	F ₃
	RCU (MPa)		–		–	20,3	S ₃
	ϕ (º)			–		15	A ₄₋₅
V	–						
Observações							
(1) Poderá baixar para L ₄₋₅ nos locais onde se verifica laminação nos grauvaques;							
(2) Devido à inacessibilidade dos afloramentos este parâmetro foi estimado visualmente a partir de fotografia com escala;							
(3) Devido à manutenção geral do espaçamento entre fracturas para o topo das arribas optou-se por extrapolar os resultados obtidos para a zona IV (base).							



Figura 7.28 – Esboço e delimitação das zonas definidas por aplicação da BGD no local 4 (praia da Zambujeira do Mar)

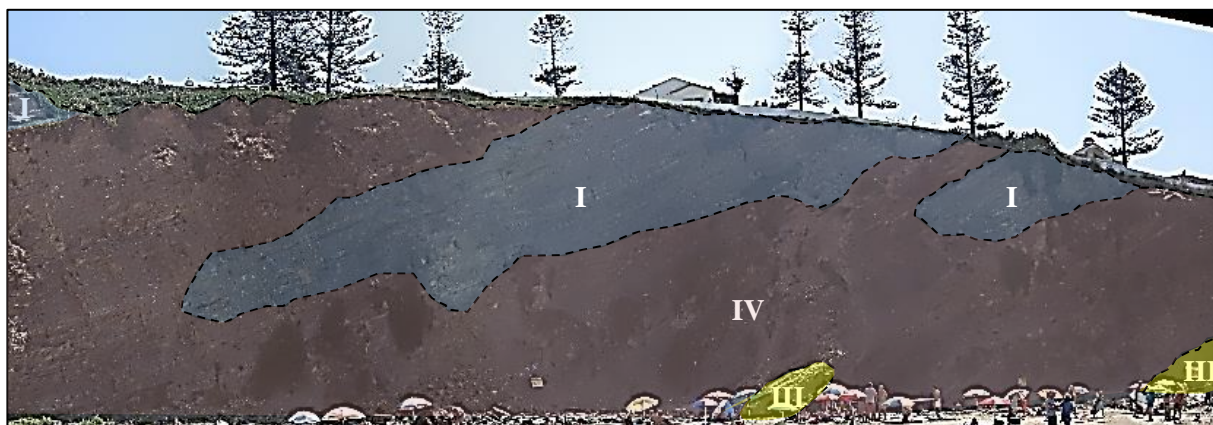


Figura 7.29 – Esboço e delimitação das zonas definidas por aplicação da BGD no local 3 (praia da Zambujeira do Mar)



Figura 7.30 – Esboço e delimitação das zonas definidas por aplicação da BGD no local 2 (praia da Zambujeira do Mar)

7.3.1. Análise cinemática

Nas Figuras 7.31, 7.32 e 7.33 são apresentados resultados referentes à verificação qualitativa das condições de estabilidade das arribas estudadas na praia da Zambujeira do Mar, correspondentes aos

locais 2, 3 e 4 O ângulo de atrito utilizado nas análises (Tabela 7.24) foi estimado, tendo em consideração a condição geral das superfícies de descontinuidade, de acordo com a classificação de Rocha (1976).

Os resultados devem, assim, ser objecto de uma avaliação criteriosa uma vez que a análise cinemática pressupõe que a rotura ocorre numa direcção preferencial devido à combinação geométrica de superfícies de baixa resistência. Neste contexto assume-se que esta metodologia é particularmente representativa no local 2 e nas zonas superiores das arribas dos locais 3 e 4, onde se observam as principais evidências de rotura orientada e associada ao destaque e queda de blocos de maiores dimensões.

Tabela 7.24 – Ângulo de atrito entre descontinuidades utilizado nas análises de estabilidade (baseado nos valores de Rocha, 1976)

Local	(ϕ°)
2	30
3	15
4	15

Foi igualmente feita uma análise estatística quantitativa baseada em todas as medições registadas durante os trabalhos de campo, tendo-se recorrido ao *software DipAnalyst®* e aos índices de rotura calculados pelas equações [5.4], [5.5] e [5.6]. Neste trabalho considera-se que para qualquer daqueles índices (IRC/IRP/IRT), uma probabilidade de ocorrência inferior a 0,05 (5%), é tida como desprezável. Os resultados das verificações de estabilidade são apresentados na Tabela 7.25.

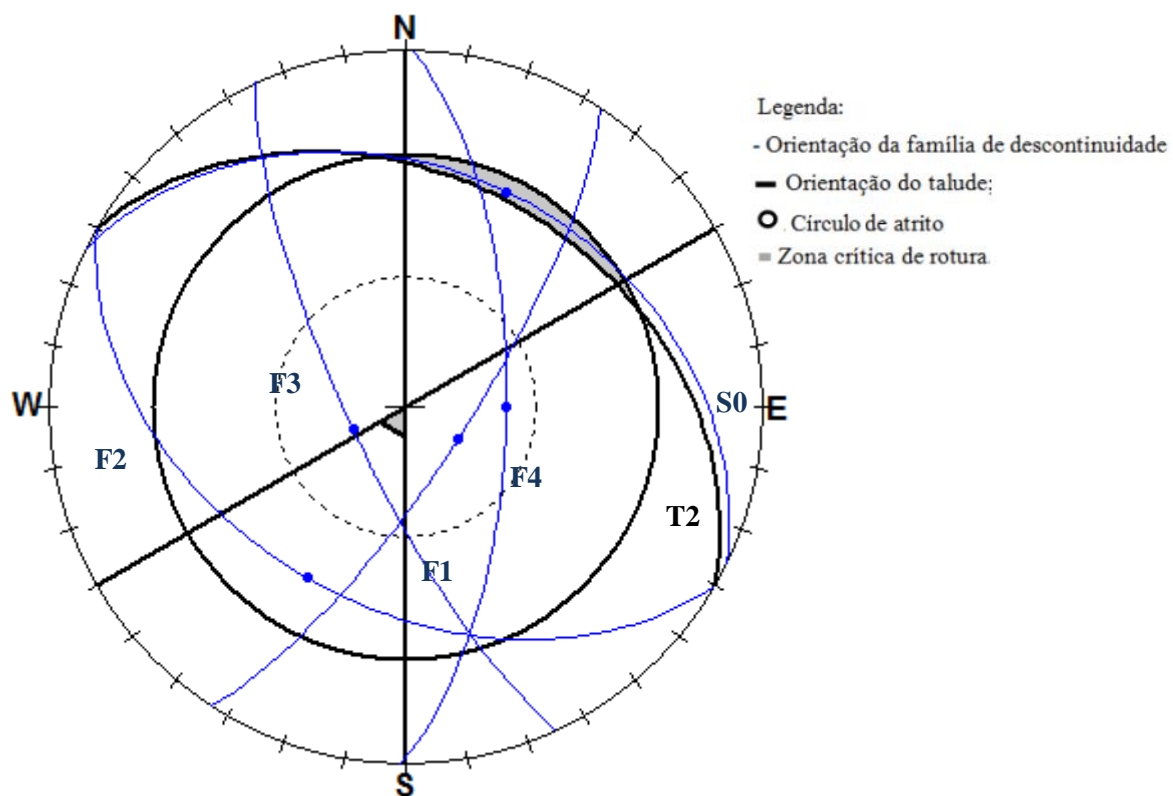


Figura 7.31 – Análise das condições de rotura para a arriba no local 2 com recurso ao *software Rockpack III*®

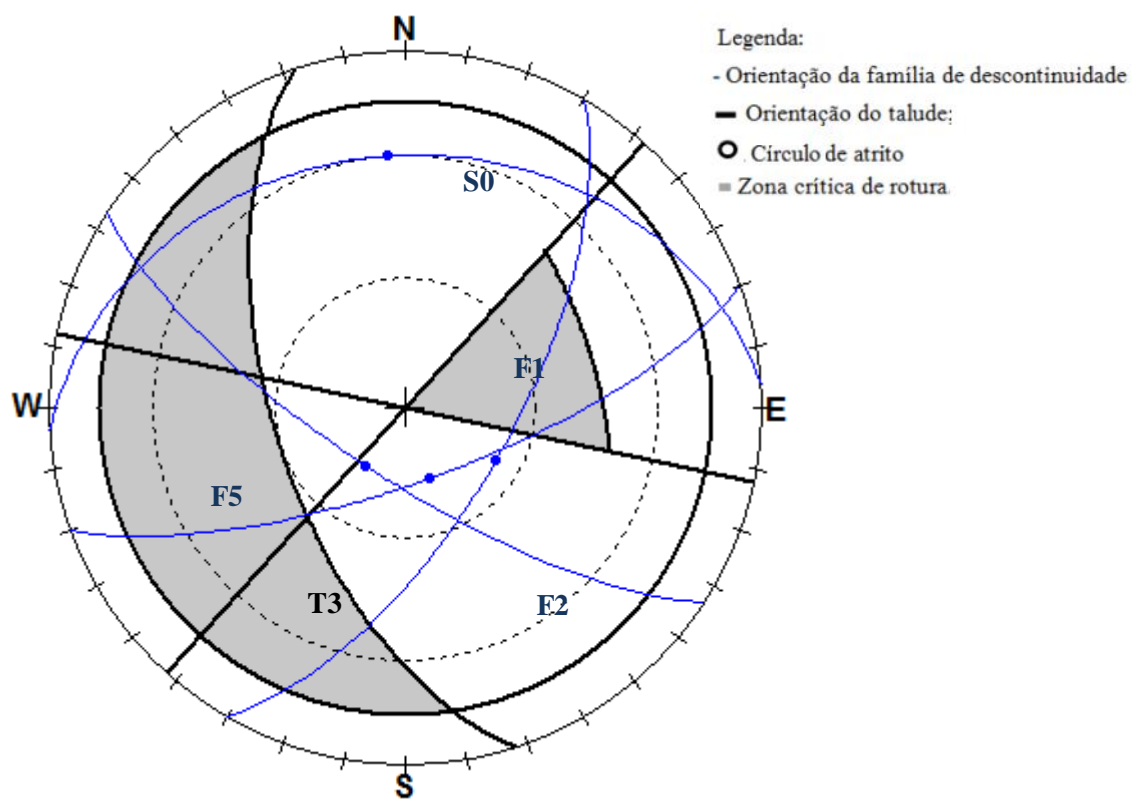


Figura 7.32 – Análise das condições de rotura para a arriba no local 3 com recurso ao *software Rockpack III*®

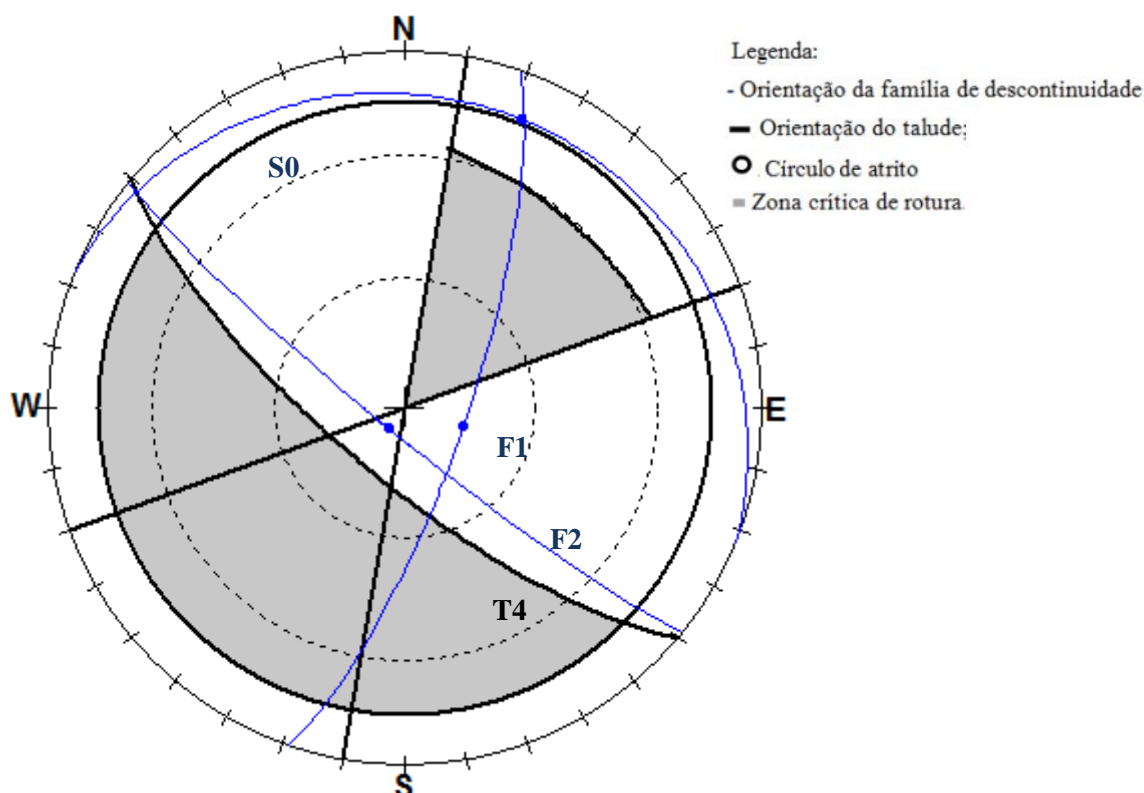


Figura 7.33 – Análise das condições de rotura para a arriba no local 4 com recurso ao *software Rockpack III®*.

Tabela 7.25 – Resumo das análises de estabilidade realizadas nas arribas estudadas

Abordagem	Qualitativa			Quantitativa		
Mecanismo de rotura	Planar	Cunha	Tombamento	IRP	IRC	IRT
Local 2	Sim	Sim	Não	0,08	0,08	0,01
Local 3	Não	Sim	Sim	0	0,12	0,05
Local 4	Não	Não	Não	0	0,04	0,01

A análise da Figura 7.31 permite verificar que existe condição cinemática para ocorrer rotura por cunha derivada às intersecções entre S_0 - F_1 e S_0 - F_4 que se manifestam na zona crítica de rotura. As superfícies de estratificação (S_0), verificam igualmente as condições necessárias à ocorrência de escorregamentos planares pois, estando o ponto de maior inclinação englobado na zona crítica, verifica-se igualmente que a diferença entre as direcções destas últimas e do próprio talude é muito reduzida (neste caso não ultrapassa os 5°).

Pela análise da Figura 7.32 não se espera a ocorrência de escorregamentos de tipo planar no local 3. No entanto, as intersecções entre S_0 - F_2 , ao serem enquadradas na zona crítica de rotura, poderão constituir possíveis situações de rotura por cunha. Verifica-se ainda que a linha de maior inclinação de F_1 se encontra muito próxima da zona crítica de tombamento. Esta evidência, em conjunto com observações de campo realizadas (com destaque para a situação de instabilização ilustrada na Figura

7.7, impõe a que se deva considerar este mecanismo de rotura mediante a configuração geométrica de F_1 relativamente à orientação da arriba.

A análise de estabilidade efectuada no local 4 revela que não é esperada a ocorrência de fenómenos de instabilização por rotura planar, cunha ou tombamento. Estes resultados confirmam as observações de campo uma vez que a evolução geomorfológica desta arriba é maioritariamente caracterizada por quedas de blocos em consola ou destacados por fendas de tracção.

A análise quantitativa dos dados recolhidos é concordante com a análise qualitativa nos locais estudados. Relativamente ao local 2, IRP e IRC resultam num valor de 0,08, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de instabilizações de 8%. Confirma-se assim que, com excepção das zonas afectadas por subscavação, a rotura dar-se-á preferencialmente por um destes dois mecanismos.

No local 3 verifica-se uma probabilidade de rotura por cunha mais elevada (12%) e de 5% para o tombamento, confirmando-se os resultados obtidos pela análise qualitativa. Por outro no local 4 a probabilidade de ocorrência é reduzida, como se confirma pelos valores de IRP, IRC e IRT obtidos.

7.3.2. Influência da variabilidade geométrica das arribas (locais 3 e 4)

Para aplicação do método de análise cinemática neste trabalho foi considerado que as arribas apresentam atitude constante (Yoon *et al.*, 2012). No entanto verifica-se que, principalmente nos locais 3 e 4 a orientação e inclinação das arribas é bastante variável, com formação de relevos em consola e zonas com inclinação negativa. Esta elevada variabilidade geométrica é motivada pela natureza fortemente heterogénea do maciço rochoso devida à alternância de litologias mais e menos competentes.

Neste contexto, e de forma a efectuar uma caracterização mais representativa das condições de estabilidade dos locais 3 e 4, pretendeu-se verificar a influência dos parâmetros da atitude (direcção e inclinação) no cálculo de IRP, IRC e IRT. Para este efeito apresentam-se as Figuras 7.34 a 7.37 que, considerando que uma das variáveis é constante e corresponde ao valor adoptado para a análise realizada, traduzem a relação linear entre a restante componente e os índices de rotura. Refira-se que, para uma mais fácil interpretação é indicado a vermelho o valor médio sobre o qual foi baseado o cálculo de estabilidade realizado em 7.3.1.

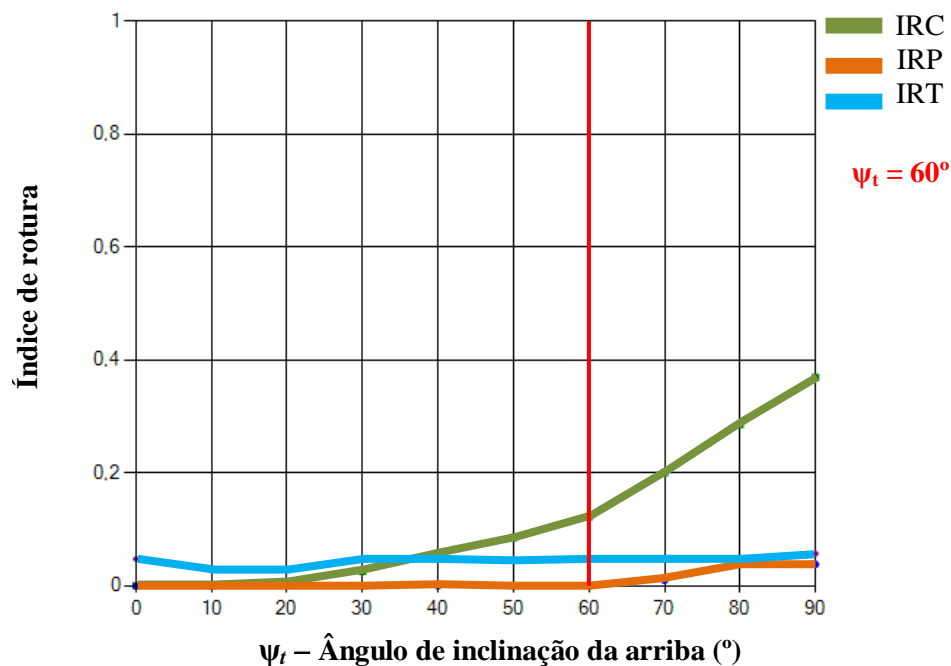


Figura 7.34 – Relação entre o ângulo de inclinação da arriba local 3 e os índices de rotação com recurso ao *software DipAnalyst* ®. Fixa-se a direcção azimutal da arriba ($\alpha_t = 252^\circ$)

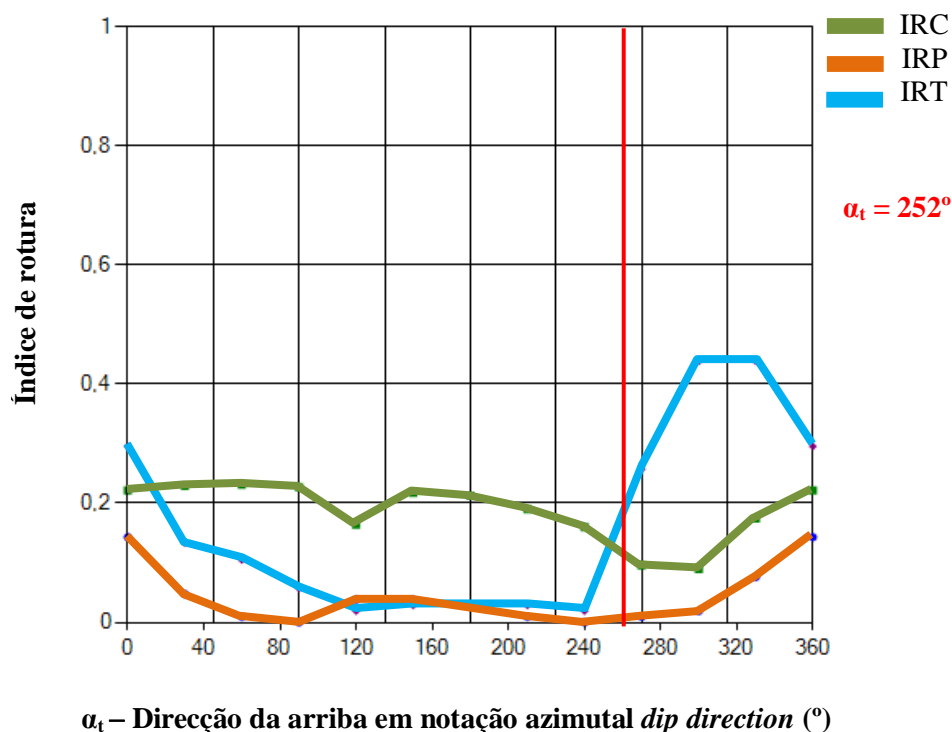


Figura 7.35 – Relação entre a direcção da arriba no local 3 e os índices de rotação com recurso ao *software DipAnalyst* ®. Fixa-se o ângulo de inclinação da arriba ($\psi_t = 60^\circ$)

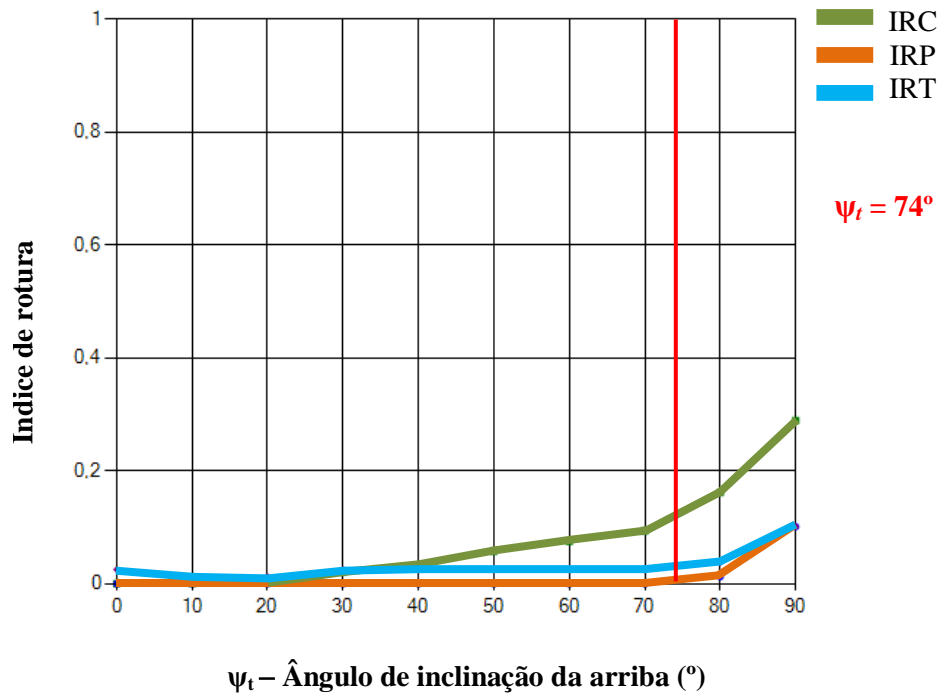


Figura 7.36 – Relação entre o ângulo de inclinação da arriba no local 4 e os índices de rotura com recurso ao *software DipAnalyst* ®. Fixa-se a direcção azimutal da arriba ($\alpha_t = 220^\circ$)

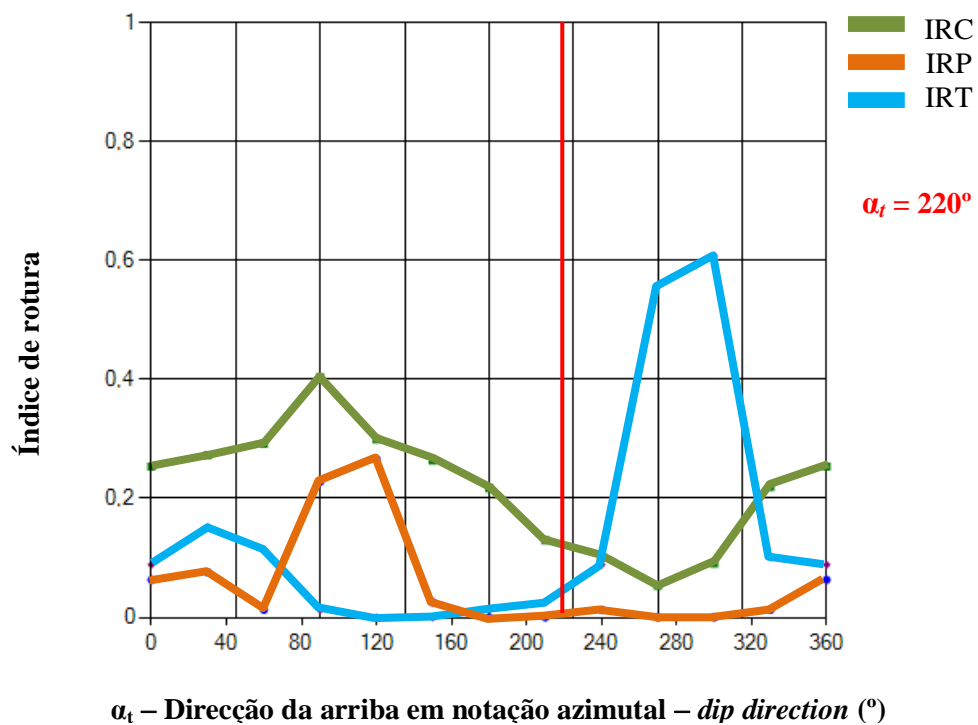


Figura 7.37 – Relação entre a direcção da arriba no local 4 e os índices de rotura com recurso ao *software DipAnalyst* ®. Fixa-se o ângulo de inclinação da arriba ($\psi_t = 74^\circ$)

Relativamente ao local 3, verifica-se que os valores de IRC sofrem um aumento muito representativo à medida que a arriba tende para a verticalidade ($\psi_t = 90$; $IRC \approx 0,40$). No entanto este aumento de inclinação parece não afectar os restantes índices que se mantêm aproximadamente constantes. De igual modo o IRT é altamente sobrelevado para direcções azimutais entre 280° e 330° , alcançando valores muito próximos de 0,50. Estes resultados são coerentes com as observações de campo, sendo que é nas zonas mais subverticais e direcção aproximada N-S (270°) que se regista uma maior quantidade de blocos dispostos na base da arriba (Figura 7.8).

No local 4 as condições de inclinação mais desfavoráveis para a ocorrência de roturas por cunha e tombamento são igualmente potenciadas nas zonas subverticais da arriba. Em termos de direcção observa-se um pico de IRC aos 90° azimutais e grande aumento de IRT na direcção N-S, tal como no caso anterior. No entanto esta última situação não ocorre no campo dado que a arriba tem direcção mais próxima de E-W e aproximadamente constante. Confirma-se aliás que, em termos de direcção, o valor médio adoptado (220°) é um dos mais favoráveis na medida em que verifica valores reduzidos para os índices de rotura.

Uma referência para o valor de IRP que se mantém sempre muito baixo para quaisquer variações de inclinação e direcção, confirmando que a rotura por escorregamento planar é muito pouco incidente nestas arribas.

Verifica-se ainda que as condições mais favoráveis para a ocorrência de tombamento correspondem às situações em que a ocorrência de roturas planar e por cunha é menos expectável, sendo que os picos de IRT correspondem normalmente aos valores mínimos de IRP e IRC.

7.3.3. Verificação de ϕ no local 2

Ao longo da face desta arriba observam-se vários blocos destacados em plano inclinado cuja resistência ao corte, tendo em conta a ausência de coesão, é apenas função do ângulo de atrito entre o mesmo e a superfície de deslizamento sobre a qual o bloco assenta. Uma destas situações, que é identificada na Figura 7.38, corresponde a um bloco de grauvaque que assenta sobre uma superfície de estratificação. Esta situação é inserida na zona A do diagrama de Ashby (1971 *in* Hoek & Bray, 1981) que se apresentou na Figura 2.4.

Sabendo as dimensões deste bloco, utilizaram-se as equações [3.1] e [3.2] no sentido de validar o valor de ϕ (30°) utilizado na análise de estabilidade realizada para esta arriba. Contudo, os critérios empíricos de Patton (1966 *in* Hoek, 2007) e de Bandis - Barton modificado por Barton & Choubey (1977 *in* Hoek, 2007), tendo sido baseados em ensaios de corte de rocha, pressupõem que o corte ocorre ou, por outras palavras, que a tensão tangencial aplicada é superior à resistência ao corte no contacto entre as superfícies de descontinuidade.

Considera-se assim que a componente tangencial do peso w é suficiente para induzir o deslizamento, colocando esta situação no limite da Zona B do diagrama de Ashby (*op.cit*). Na prática este pressuposto implica que o valor de ϕ obtido por esta metodologia é subestimado o que, tendo em conta os objectivos desta dissertação, está do lado da segurança. Barton (1971 *in* Asadollahi & Tonon, 2010) refere que a baixos níveis de tensão e para descontinuidades muito pouco meteorizadas, JCS é igual à RCU da rocha mas pode reduzir-se para $\frac{1}{4}$ da RCU em descontinuidades meteorizadas.

Tendo este ponto em consideração, assina-se que o valor da resistência da superfície em estudo (JCS) é tido como correspondente ao valor de RCU obtido na estação 8 dos ensaios de campo, onde se ensaiou este mesmo plano de potencial deslizamento. Os resultados desta avaliação apresentam-se na Tabela 7.26.

ϕ_b e ϕ_r , por definição, representam resistências baixas, sendo que o primeiro é baseado na mineralogia do material que constitui a superfície de deslizamento e o segundo corresponde ao valor mínimo remanescente após ocorrência de grandes deslocamentos por corte (Giani, 1992).

Tabela 7.26 – Resultados obtidos mediante aplicação dos critérios de Patton (1966 *in* Hoek, 2007) e Barton & Choubey (1977 *in* Hoek, 2007) na situação descrita anteriormente

γ_a (kN/m ³)	V_b (m ³)	w (kN)	τ (MPa)	σ_n (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ψ (°)	i (°)
25	0,144	3,773	0,00206	0,00264	3	148	38	5
Critério				Expressão			ϕ (°)	
Patton (1966 <i>in</i> Hoek, 2007)				$\tau = \sigma_n \tan(\phi_b + i)$			$\phi_b = 33$	
Barton & Choubey (1977 <i>in</i> Hoek, 2007)				$\tau = \sigma_n \tan\left(JRC \log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right) + \phi_r\right)$			$\phi_r = 24$	

Pela análise da Tabela 7.26 verifica-se que tanto ϕ_b como ϕ_r são relativamente semelhantes ao valor utilizado para a análise cinemática nesta arriba (30°). Esta proximidade é função da fraca meteorização da superfície de deslizamento uma vez que, como referem Asadollahi & Tonon (2010), as superfícies frescas tendem a registar valores muito semelhantes de ϕ_b e ϕ_r , sendo mais díspares quanto maior é o grau de meteorização. Refere-se que os baixos valores atribuídos a i e JRC foram baseados no perfil aproximadamente liso da superfície. Tendo em conta que os resultados obtidos são subestimados, conclui-se que o ângulo de atrito terá, na pior das hipóteses, valores na ordem de 30°.

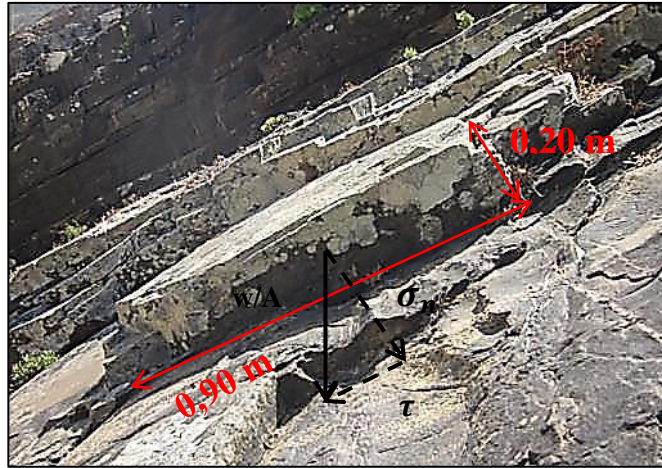


Figura 7.38 – Dimensões e diagrama de forças do bloco estudado

Analisou-se ainda a influência de uma potencial redução de ϕ no valor dos índices de rotura de forma a incluir uma situação potencialmente mais desfavorável motivada pela lubrificação dos planos de deslizamento por águas de escorrência superficial, principalmente na estação húmida. Os resultados apresentam-se Figura 7.39.

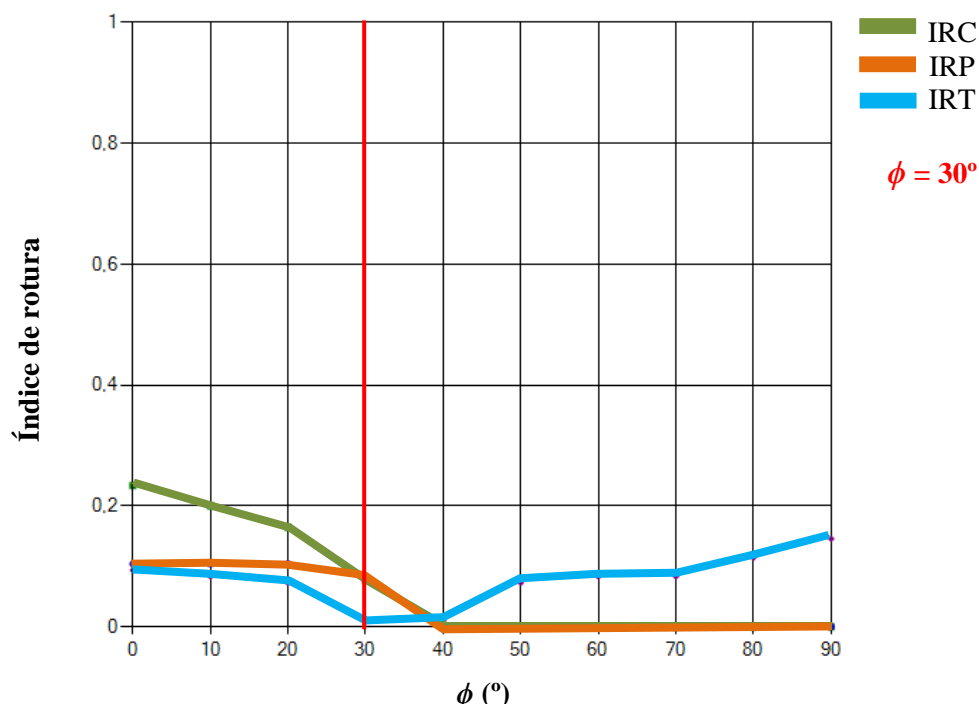


Figura 7.39 – Verificação da influência da variação de ϕ no cálculo dos índices de rotura com recurso ao software *DipAnalyst* ®

Observa-se que mesmo para ângulos de atrito extremamente baixos o valor de IRP não varia significativamente pelo que, em conjunto os resultados obtidos pelo critério de Patton (1966 *in* Hoek,

2007) e Barton & Choubey (1977 *in* Hoek, 2007), se considera como válida a estimativa realizada para esta arriba.

7.3.4. Análise de rotura por corte de blocos em consola

A subscavação na base de arribas rochosas ou formação de relevos de erosão diferencial em virtude da heterogeneidade na resistência mecânica de um maciço rochoso (derivada por exemplo da alternância de litologias com resistências muito distintas) originam consolas que atingem, por vezes elevado balanço. Para o cálculo mais apropriado e fidedigno da estabilidade destas estruturas, é necessário considerar o tipo de mecanismos associados à queda de blocos, com predominância para o corte, cuja avaliação não é realizada a partir das ferramentas utilizadas para a análise cinemática.

Como referido em 2.3.2, a rotura por corte ocorre quando o peso do bloco é maior do que a resistência ao corte do material que, sendo considerado válido o critério de rotura de Mohr-Coulomb, é dada em função da coesão e do ângulo de atrito interno da rocha. Em caso de destaque por descontinuidade pré-existente deverá considerar-se a coesão aparente (c_a), se existente, e o ângulo de atrito na descontinuidade.

Tendo em conta que a rotura por corte se pode dar em situações muito próximas da verticalidade, o parâmetro ϕ deixa de assumir, nestes casos, importância tão relevante no cálculo da estabilidade e pode ser desprezado (Águas *et al.*, 2006). Assim apresentam-se cenários (Tabelas 7.27 e 7.28) para volumes de blocos entre 1 e 4,5 m³, áreas de superfícies de rotura (A) com persistência entre 85% e 95% e diferentes estados de meteorização com base na Tabela 5.4. Alternativamente, no que respeita aos grauvaques são a pouco meteorizados (W_{1-2}), considera-se o peso volúmico obtido em 7.2.6. Crê-se que esta metodologia permite avaliar a generalidade dos potenciais casos de rotura por corte que possam ocorrer, uma vez que a fracturação do maciço rochoso dificilmente permite a individualização de blocos de grande volume em xistos ou grauvaques, como estudado em 7.2.6. Assim a força resistente (FR) pode ser descrita pela seguinte expressão (Giani, 1992):

$$FR = c \times A \times (1 - p) \quad [7.5]$$

Refira-se que os parâmetros mecânicos utilizados nesta análise correspondem às estimativas de Pinho (2003) para grauvaques da H_{br} (Tabela 7.15). Para xistos o mesmo autor executa nove ensaios de resistência ao deslizamento de diaclases em amostragem realizada na barragem do Funcho, obtendo-se valores médios de 208,33 kPa e 26,28° para c_a e ϕ respectivamente.

Da interpretação dos resultados obtidos, verifica-se que para elevadas persistências das superfícies de rotura (85-95%) é de esperar a ocorrência de queda tanto em xistos como grauvaques afectados por diferentes graus de meteorização. A redução da continuidade da diaclase constitui um factor favorável à estabilidade uma vez que o controle da rotura passa a ser gerido pela resistência ao corte da ligação rochosa entre maciço e bloco destacado.

O peso de um bloco, sendo proporcional ao seu volume, aumenta na potência ao cubo. Por outro lado FR aumenta com um com potência quadrática visto ser proporcional à superfície da diaclase considerada. Assim sendo, blocos de maiores dimensões e com forma cúbica apresentam maior risco de queda do que blocos de volume proporcional de forma prismática ou tabular com dimensão menor perpendicular à diaclase considerada (maior área de contacto). Estas observações são confirmadas pelos resultados obtidos nas Tabela 7.27 e 7.28, verificando-se que os poucos cenários em que a rotura não ocorre estão associados a persistências de 85% e, considerando um bloco de igual volume, às superfícies de contacto de maior área.

Tabela 7.27 – Estimativa de cálculo para a estabilidade de um bloco de xisto sujeito a movimento de rotura por corte para vários cenários. W – Estado de meteorização; a_1 , a_3 – Dimensões, maior e menor da área A de contacto; p – Persistência

Litologia	W	γ_a (kN/m ³)	Volume (m ³)	w (kN)	a_1 (m)	a_3 (m)	A (m ²)	p (%)	FR (kN)	Rotura
Xistos	W₁₋₂	25,5	1	25,5	0,5	0,5	0,25	95	2,60	Sim
								85	7,81	Sim
						1	0,5	95	5,21	Sim
								85	15,62	Sim
			2	51	1	1	1	95	10,42	Sim
								85	31,25	Sim
						2	2	95	20,83	Sim
								85	62,50	Não
			4,5	102	1,5	1,5	2,25	95	23,44	Sim
								85	70,31	Sim
						3	4,5	95	46,87	Sim
								85	140,62	Não
	W₃	21,9	1	21,9	0,5	0,5	0,25	95	2,60	Sim
								85	7,81	Sim
						1	0,5	95	5,21	Sim
								85	15,62	Sim
			2	43,8	1	1	1	95	10,42	Sim
								85	31,25	Sim
						2	2	95	20,83	Sim
								85	62,50	Não
			4,5	87,6	1,5	1,5	2,25	95	23,44	Sim
								85	70,31	Sim
						3	4,5	95	46,87	Sim
								85	140,62	Não
	W₄₋₅	21,0	1	21	0,5	0,5	0,25	95	2,60	Sim
								85	7,81	Sim
						1	0,5	95	5,21	Sim
								85	15,62	Sim
			2	42	1	1	1	95	10,42	Sim
								85	31,25	Sim
						2	2	95	20,83	Sim
								85	62,50	Não
			4,5	84	1,5	1,5	2,25	95	23,44	Sim
								85	70,31	Sim
						3	4,5	95	46,87	Sim
								85	140,62	Não

Tabela 7.28 – Estimativa de cálculo para a estabilidade de um bloco de grauvaque sujeito a movimento de rotura por corte para vários cenários. W – Estado de meteorização; a_1 , a_3 – Dimensões, maior e menor da área A de contacto; p – Persistência

Litologia	W	γ_a (kN/m ³)	Volume (m ³)	w (kN)	a_1 (m)	a_3 (m)	A (m ²)	p (%)	FR (kN)	Rotura
Gruvaques	W ₁₋₂	25	1	25	0,5	0,5	0,25	95	1,65	Sim
								85	4,95	Sim
						1	0,5	95	3,3	Sim
								85	9,9	Sim
			2	50	1	1	1	95	6,6	Sim
								85	19,8	Sim
						2	2	95	13,2	Sim
								85	39,6	Sim
			4,5	112,5	1,5	1,5	2,25	95	14,85	Sim
								85	44,55	Sim
						3	4,5	95	29,7	Sim
								85	89,1	Sim
	W ₃	22,9	1	22,9	0,5	0,5	0,25	95	1,65	Sim
								85	4,95	Sim
						1	0,5	95	3,3	Sim
								85	9,9	Sim
			2	45,8	1	1	1	95	6,6	Sim
								85	19,8	Sim
						2	2	95	13,2	Sim
								85	39,6	Sim
			4,5	91,6	1,5	1,5	2,25	95	14,85	Sim
								85	44,55	Sim
						3	4,5	95	29,7	Sim
								85	89,1	Sim
	W ₄₋₅	20,1	1	20,01	0,5	0,5	0,25	95	1,65	Sim
								85	4,95	Sim
						1	0,5	95	3,3	Sim
								85	9,9	Sim
			2	40,02	1	1	1	95	6,6	Sim
								85	19,8	Sim
						2	2	95	13,2	Sim
								85	39,6	Sim
			4,5	80,04	1,5	1,5	2,25	95	14,85	Sim
								85	44,55	Sim
						3	4,5	95	29,7	Sim
								85	89,1	Não

Ao longo das arribas observam-se diversas situações cujas características são propícias à ocorrência de movimentos de rotura por corte. Um exemplo é apresentado na Figura 7.40, onde uma consola xistenta é destacada por uma fenda de tracção sub-vertical com persistência entre 60-70%. Apesar de se apresentar relativamente estável, o previsível aumento da continuidade da fractura, que no limite anula a ligação bloco-maciço, poderá precipitar a rotura.



Figura 7.40 – Bloco em consola no local 3 em risco de rotura por corte com a superfície de rotura assinalada a vermelho

Um outro exemplo refere-se a um bloco xistento (W_{1-2}) no local 3 com um volume estimado em cerca de $1,20 \text{ m}^3$ com peso aproximado de $30,6 \text{ kN}$ (Figura 7.41). A diaclase que o destaca apresenta uma continuidade perto dos 90%, área de cerca de $0,9 \text{ m}^2$ e inclinação de 85° (não vertical). Nesta situação FR é ainda função de ϕ que, como já referido, pode ser descrito por $(\phi_b + i)$. Assim, para ϕ_b considera-se o valor de $26,28^\circ$ baseado nos ensaios de deslizamento de diaclases de Pinho (2003) sendo que i , que traduz a influência da rugosidade, é tido como 0° . A fórmula de cálculo pode então ser reescrita da seguinte forma (Giani, 1992):

$$FR = c \times A \times (1 - p) + w \cos (85^\circ) \times \text{tg} (\phi_b) \quad [7.6]$$

Por aplicação da equação [7.7], verifica-se que $FR = 24,67 \text{ kN}$, sendo que a componente instabilizadora é dada por $w \times \sin (85^\circ) = 30,48 \text{ kN}$, concluindo-se assim que a força de rotura é superior à força resistente. No entanto, admite-se que a parcela que permite a sustentação deste bloco seja fornecida lateralmente, pelo que qualquer acção que favoreça o seu desconfinamento pode potenciar a ocorrência de rotura.



Figura 7.41 – Bloco na base do local 3 em risco de rotura por corte. A superfície de rotura é assinalada a vermelho

7.4. ZONAMENTO GEOTÉCNICO E REAVALIAÇÃO DO RISCO PRELIMINAR

De acordo com a metodologia proposta define-se um zonamento geotécnico para as arribas estudadas na praia da Zambujeira do Mar em seis zonas bem diferenciadas – ZG1, ZG2, ZG3, ZG4, ZG5 e ZG6. A delimitação de cada zona geotécnica é baseada nos pontos expostos anteriormente, nomeadamente:

- Existência de estruturas em consola com importante balanço;
- Resultados da avaliação de estabilidade;
- Caracterização geológico-geotécnica;
- Orientação da arriba face à erosão marinha;

A definição deste elevado número de zonas resulta da percepção de comportamentos muito diferentes em termos de estabilidade, mesmo em zonas litologicamente muito semelhantes (como se verifica pela descrição das Zonas 3 e 4). Em termos de avaliação de risco, esta discriminação traduz-se igualmente numa diferenciação muito superior, permitindo uma mais fácil priorização na aplicação de eventuais medidas de mitigação.

A ZG1 (Zona Geotécnica 1) é definida por materiais de boas a médias características geotécnicas (L_{4-5} ; F_2 ; S_2 ; A_4 (W_{1-2})) em que as diaclases se apresentam, de modo geral, afastadas, muito pouco contínuas, com paredes frescas, fechadas a medianamente largas e enchimento argiloso esporádico. Não se verificam condições para a ocorrência de qualquer dos tipos de rotura definidos em análise cinemática de estabilidade. Contudo, podem ocorrer consolas de certo balanço em virtude da elevada resistência mecânica destas camadas pouco espessas à erosão marinha.

A ZG2 (Zona Geotécnica 2) é caracterizada por rocha com boas características geotécnicas, praticamente sã (L_3 ; F_3 ; S_2 ; A_3 ; (W_{1-2})), intersectada por diaclases, muito pouco contínuas, moderadamente afastadas, abertas a medianamente largas, de paredes frescas a descoloradas e,

esporadicamente, com enchimento de quartzo ou material argiloso/arenoso. Não existem condições para que ocorram blocos em consola, por um lado devido ao baixo declive do talude (morfologia), por outro devido à ausência de alternâncias litológicas importantes. A análise cinemática, confirmada pelas observações de campo, acusa a ocorrência de roturas de tipo planar e em cunha (8% de probabilidade de ocorrência). Relativamente à rotura planar, como verificado em 7.3.3, a inclinação do talude terá de ser igual ou superior a 30° para que a sua ocorrência seja viabilizada.

A ZG3 (Zona Geotécnica 3) abrange trechos de arriba de deficientes características geotécnicas (L_{4-5} ; F_3 ; S_3 ; A_{4-5} (W_5)) em virtude da predominância de litologias pelíticas, por vezes, fortemente meteorizadas. As diaclases que as compartimentam exibem, em grande parte das suas características, um amplo espectro de valores. Deste modo ocorrem, por regra, fracturas moderadamente afastadas, pouco a muito contínuas, de abertura muito variável, com preenchimento argiloso esporádico e de paredes desde descoloradas e muito rugosas a desintegradas e lisas. A estrutura incutida ao maciço pela litologia xistenta e fracturação, permite o destaque de consolas de reduzido balanço, verificando-se também roturas de pequenos volumes de material por cunha ou por tombamento. Esta evolução morfológica confere à parede da arriba uma certa rugosidade.

A ZG4 (Zona Geotécnica 4), sendo em termos litológicos e estruturais praticamente idêntica à ZG3, diferencia-se essencialmente pela direcção que a sua frente toma, inviabilizando a ocorrência de certos mecanismos de instabilidade que ocorrem no caso anterior. Também não se verificam, em geral, condições para a ocorrência de blocos em consola devido à homogeneidade de toda esta zona em termos de resistência aos agentes erosivos, resultando numa escarpa sub-vertical relativamente lisa.

A ZG5 (Zona Geotécnica 5) é caracterizada por grauvaques descolorados (L_3 ; F_3 ; S_2 ; A_2 (W_3)), alternando com alguns níveis xistentos, com boas a médias características geotécnicas. As características geométricas das discontinuidades que compartimentam esta zona são idênticas às já descritas para as zonas ZG3 e ZG4, observando-se nalguns casos, fracturas abertas com preenchimento argiloso. Um aspecto comum a toda a zona corresponde ao destaque de blocos em consola e zonas na crista afectadas por fendas de tracção bem nítidas. Quando a orientação da escarpa é favorável, a estrutura do maciço potencia situações de instabilidade por cunha ou por tombamento de blocos de dimensão decimétrica a métrica, cuja probabilidade de ocorrência aumenta nas zonas subverticais.

ZG6 (Zona Geotécnica 6) é caracterizada por materiais detríticos de cobertura com variáveis graus de consolidação susceptíveis à ocorrência de instabilizações superficiais (escorregamentos peliculares/ravinamentos).

O zonamento geotécnico da frente das arribas assim definido é apresentado nas Figuras 7.42, 7.43 e 7.44:

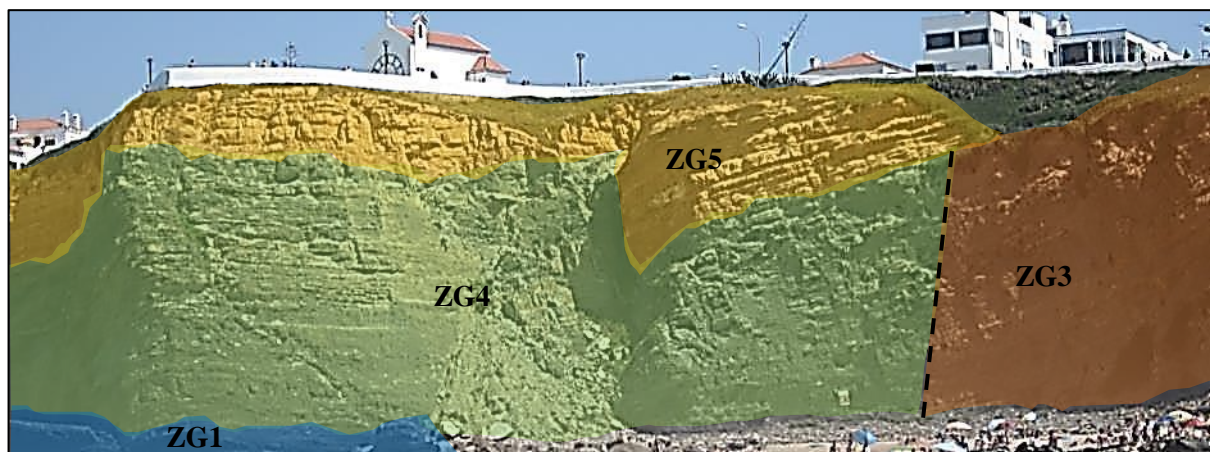


Figura 7.42 – Zonamento geotécnico (local 4).

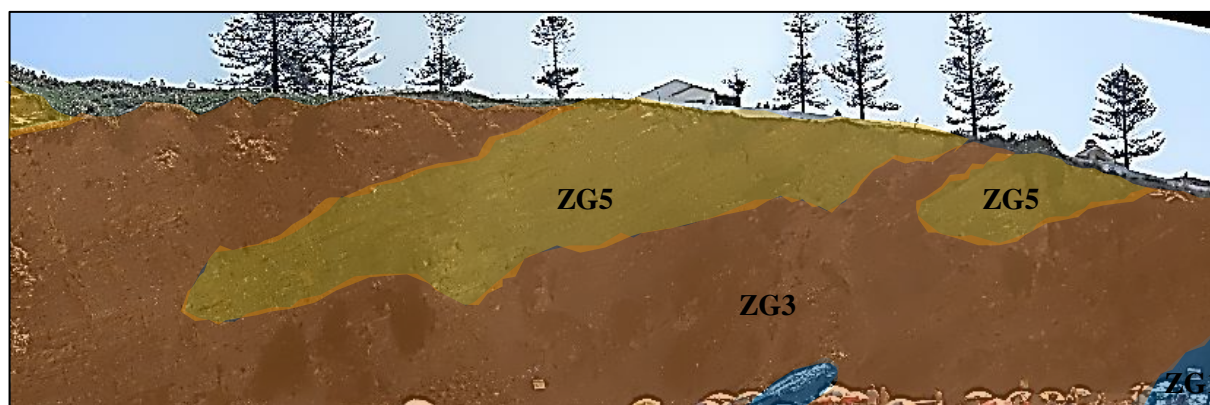


Figura 7.43 – Zonamento geotécnico (local 3)



Figura 7.44 – Zonamento geotécnico (local 2)

Tendo em conta o zonamento geotécnico realizado, procede-se a uma nova avaliação do risco associado à problemática em análise nas arribas da Zambujeira do Mar, considerando o uso actual e futuro a que as áreas de influência (crista e base) estarão sujeitas (Tabela 7.29), apresentando-se igualmente os valores definidos no capítulo 6 para comparação.

Ao local 2, inicialmente classificado com “Risco muito elevado”, é agora atribuído um IR 0,19 e 0,48 relativamente à ocupação de espaços na crista e base da arriba respectivamente. Esta discrepância é, para a base da arriba, fundada pelo valor de perigosidade agora adoptado, que reflecte a caracterização geotécnica descrita para a ZG2. Na verdade, apesar de se verificarem evidências de escorregamento (s) planar (es) o ângulo de inclinação do talude é suficientemente baixo que a maioria dos blocos destacados não sofra deslizamento. A vulnerabilidade, no entanto, é considerada como “Elevada” dado que a arriba é sobranceira a trechos de praia de muito fácil acessibilidade durante o dia.

Relativamente à crista da arriba, os materiais de cobertura são susceptíveis à ocorrência de instabilizações pontuais que parecem, no entanto, ter reduzida significância. A vulnerabilidade é igualmente reduzida dada a dificuldade no acesso ao local, apesar da existência de algumas infra-estruturas (fonte D. Catarina).

A avaliação preliminar do risco realizada para os locais 3 e 4 é confirmada pela caracterização geológico-geotécnica desenvolvida. No local 3, para além da grande extensão e altura desta arriba, a predominância das Zonas Geotécnicas 4 e 5 resulta num grau de perigosidade extremamente elevado na base (menor na crista, onde não se identificaram fendas de tracção significativas), em função da ocorrência de diferentes mecanismos de rotura. Apesar da colocação de uma fita de delimitação na base do local 3, a reduzida expressão de areal pode levar à ocupação de espaços muito próximos da base da arriba.

No local 4 a perigosidade é principalmente função da ocorrência de quedas de blocos provenientes da ZG5, não se verificando condições para a ocorrência de outros tipos de rotura. Relativamente à crista, a presença de fendas de tracção significativas fundamenta uma perigosidade mais elevada do que no local 3. Considera-se, no entanto, um grau de vulnerabilidade inferior no sopé desta arriba dado que o acesso às zonas próximas é dificultado em situações de preia-mar. A presença de infra-estruturas na crista destas arribas constitui no entanto um factor de aumento da vulnerabilidade.

Tabela 7.29 – Reavaliação do risco para as arribas estudadas na praia da Zambujeira do Mar e comparação com os valores obtidos nos trabalhos preliminares

Local	Zona de influência	Zonamento Geotécnico	Perigosidade		Vulnerabilidade		IR	
			Probabilidade de ocorrência	Magnitude	Dano potencial	Capacidade de resposta	Actual	Preliminar
2	Crista	ZG6	4	2	3	1	0,19	0,80
	Base	ZG6 ZG2	4	3	5	1	0,48	
3	Crista	ZG3 ZG5	4	5	4	1	0,64	1,00
	Base	ZG3 ZG5 ZG1	5	5	5	1	1,00	
4	Crista	ZG5 ZG4	5	5	4	1	0,80	1,00
	Base	ZG5 ZG4 ZG1	5	5	4	1	0,80	

Índice de risco (IR)		
Muito elevado	[0,8;1,0]	
Elevado	[0,6;0,8[
Médio	[0,4;0,6[
Reduzido	[0,2;0,4[
Não significativo	[0;0,2[

7.5. RECOMENDAÇÕES RELATIVAS À MITIGAÇÃO DO RISCO

No contexto de uma estratégia integrada de gestão do risco de instabilizações nas arribas da praia da Zambujeira do Mar, deve proceder-se à sua mitigação mediante dimensionamento de medidas de protecção e de estabilização susceptíveis de serem aplicadas aos três locais avaliados e que, segundo Wyllie (1991), podem ser agrupadas em preventivas e correctivas. Na selecção de possíveis soluções deverá ter-se em conta um conjunto de condicionamentos que resultam quer das características físicas e ambientais da zona, quer das considerações de ordem económica e técnica, de que se destacam:

- Condicionantes morfológicas das arribas, em grande parte de perfil sub-vertical e altura elevada, com dificuldades no acesso a vários pontos das frentes;
- Características geológico-geotécnicas do maciço rochoso onde as arribas foram talhadas;
- Condicionantes logísticas de espaço e tempo na execução dos trabalhos, não só devido à ocupação humana das praias em época balnear mas também às marés que podem inviabilizar a deslocação de equipamentos na preia-mar;
- Equipamento disponível para execução dos trabalhos;
- Interesse turístico daquela região;
- Valor paisagístico e ambiental das arribas;
- Segurança dos técnicos e operários envolvidos nos trabalhos, assim como dos transeuntes e banhistas;
- Custo das obras;

Neste contexto, tendo em conta a avaliação anteriormente realizada e os pontos supracitados, apresenta-se na Tabela 7.30 um exemplo de plano de mitigação do risco, tecendo-se seguidamente algumas considerações relativamente à sua aplicabilidade.

Relativamente ao local 2 não é considerada, no curto prazo, a implementação imediata de medidas de estabilização correctivas ou de protecção uma vez que o talude se encontra relativamente estabilizado. A abordagem realizada deverá focar-se essencialmente na redução da vulnerabilidade a longo prazo através do reforço da sinalética de perigo de queda de blocos e proceder à colocação de uma barreira de acesso às zonas mais afectadas por subscavação basal que, apesar de serem somente acessíveis na baixa-mar, correspondem aos locais de maior perigosidade devido à ocorrência de consolas com algum balanço.

Tabela 7.30 – Plano de mitigação proposto para a problemática da praia da Zambujeira do Mar

Local	Mitigação do risco				
	Estrutural			Drenagem	Não estrutural
	Medidas de estabilização		Medidas de protecção		
	Correcção	Reforço			
2	–	–	–	Superficial com valetas de crista de talude	Aumento/implementação/substituição da sinalização de perigo adequada em locais bem visíveis (crista e base) Barreira física (vedação) nas zonas afectadas por subscavação basal
3	Saneamento Desmonte de blocos de rocha salientes	Pregagens esporádicas associadas a redes de cabos e malhas de aço / betão projectado	Redes metálicas pregadas/ancoradas	Superficial com valetas de crista de talude	Aumento /implementação/substituição da sinalização de perigo adequada em locais bem visíveis (crista e base) Barreira física (vedação) a toda a extensão da base da arriba
4	Saneamento	Pregagens esporádicas associadas a redes de cabos e malhas de aço / betão projectado	Redes metálicas pregadas/ancoradas	Superficial com valetas de crista de talude	Aumento /implementação/substituição da sinalização de perigo adequada em locais bem visíveis (crista e base) Barreira física (vedação) a toda a extensão da base da arriba

Em época balnear deve igualmente proceder-se ao reforço das acções de consciencialização para os riscos inerentes à aproximação ao sopé do talude devido à tendência dos banhistas para utilizar o reduzido declive para disposição de bens próprios. Convém igualmente proceder-se à implantação de valetas de drenagem na crista da arriba devido à natureza friável do material de cobertura, facilmente erodível pela acção da precipitação.

Relativamente aos trabalhos propostos para os locais 3 e 4 da praia da Zambujeira do Mar, sugere-se a sua realização em duas fases distintas. Assim, na primeira fase de trabalhos, deverá proceder-se ao saneamento dos blocos rochosos de pequena dimensão e de material fortemente meteorizado, principalmente no local 3, onde a ZG3 apresenta bastante expressão (Figura 7.45). Neste local deve ainda proceder-se, sempre que possível, ao desmonte de alguns blocos de maior dimensão potencialmente instáveis, de que é exemplo a situação representada na Figura 7.41, mediante equipamentos de desmonte apropriados. Poderá igualmente proceder-se à ancoragem de redes metálicas na crista destas arribas para controlo dos blocos em queda livre. Tal como na situação anterior, recomenda-se o aumento / substituição da sinalização adequada sempre que necessário, assim como a disposição de uma barreira de acesso (delimitação já existente no local 3), a toda a extensão da base das arribas para impedir a aproximação às zonas de risco.



Figura 7.45 – Exemplo de blocos a sanear no local 3 (ZG3)

Posteriormente deve proceder-se à implementação das medidas de reforço, nomeadamente a pregagens para fixação das consolas de maior volume, normalmente associadas aos grauvaques da ZG5 (Figura 7.8). Estes elementos rígidos de reforço funcionam por tracção (sem serem pré-traccionados) e consistem, geralmente, em varões de aço de vários tipos envolvidos por material de injeção que, para além de promover a solidarização do varão ao maciço, acumula vantagens em termos de protecção contra a corrosão dos varões o que, no caso em estudo, é particularmente importante devido à precipitação de sais marinhos nas fissuras.

A título de exemplo refiram-se os varões GEWI® que, para além de apresentarem capacidade resistente superior ao aço corrente (Tabela 7.31), podem ser adquiridos com pintura anticorrosiva ou galvanizados, e são de fácil manobra em zonas de difícil acesso.

Tabela 7.31 – Características dos varões GEWI® (adaptado de Alves, 2012)

Diâmetro (mm)	Área (mm²)	Classe do Aço	Carga de cedência (kN)	Carga de rotura (kN)
32	804	BST 500S	402	442
40	1257	BST 500S	628	691
50	1963	BST 500S	982	1080
63,5	804	S555/700	1758	2217

Tendo em conta os volumes unitários estimados no capítulo 7.2.9 e os resultados da avaliação do mecanismo de rotura de blocos em consola por corte a utilização, em termos teóricos, de uma pregagem por bloco com um varão de 32 mm de diâmetro (carga de cedência de 402 kN) poderá ser suficiente para efectuar a contenção da maioria dos blocos destacados pela compartimentação do maciço, dado que um bloco grauvacóide com $\gamma_a = 25 \text{ kN/m}^3$ e volume de cerca de $4,5 \text{ m}^3$ representa uma força de 112,5 kN. Sabendo, no entanto, que o peso do bloco induz esforços combinados de compressão e tracção à estrutura, os valores apresentados, sendo meramente indicativos, não devem ser considerados em projecto pelo que, em caso de implementação deste tipo solução, terá de ser sempre realizado um correcto dimensionamento da malha.

A estes elementos podem ainda ser associados cabos e malhas de aço traccionadas e ancoradas ao maciço que, com um reduzido impacte visual, promovem o reforço da consola ou bloco instável. A utilização de betão projectado (sempre com furos drenantes) poderá ser aplicada para a estabilização de consolas muito afectadas pela descompressão, onde o risco de queda é muito elevado (Figura 7.12). Para esta solução deverão ser utilizados pigmentos apropriados de forma a reduzir o impacte visual. A instalação de valetas de crista de talude para drenagem superficial permite ainda a recolha das águas de escorrência, dificultando a infiltração e lavagem das fracturas nestas arribas.

Complementarmente, e numa perspectiva de longo prazo orientada para a prevenção, considera-se ainda necessário a efectiva implementação de um plano de monitorização apropriado para as arribas estudadas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi realizada uma avaliação preliminar do risco associado à ocorrência de movimentos de terreno em arribas na orla costeira alentejana entre Sines e a Zambujeira do Mar. Este trecho, predominantemente rochoso, é caracterizado pela ocorrência de processos erosivos muito intensos evidenciados pela ocorrência de instabilizações que, embora demonstrando um carácter episódico, são caracterizadas pela imprevisibilidade e elevadas velocidades de ocorrência. No contexto de uma efectiva gestão integrada do risco torna-se, assim, essencial a implementação de uma abordagem pró-activa focada na prevenção e vulnerabilidade, em detrimento de uma abordagem meramente reactiva centrada na perigosidade e na implementação de medidas correctivas de mitigação de risco.

Na ausência de dados quantitativos que permitissem calcular a probabilidade de ocorrência do perigo em análise optou-se pela implementação de uma metodologia semi-quantitativa, na avaliação realizada para os locais inventariados. Esta foi baseada na identificação de perigos representados pela ocorrência de situações potencialmente desfavoráveis e aceção visual das características geológico-geotécnicas das arribas com efeito na sua estabilidade. Cada parâmetro da equação do risco foi então ponderado numa escala de igual amplitude, calculando-se o respectivo valor do índice de risco preliminar. Os doze locais sujeitos a avaliação foram então classificados numa escala de risco, sendo que as arribas da praia da Zambujeira do Mar verificaram risco muito elevado, a praia da Samoqueira risco elevado, as praias do Malhão, Forte do Pessegueiro, Banho e Cerro da Águia, risco médio e as praias do Almogrove, sul da Foz dos Ouriços e Furnas, risco reduzido.

Esta avaliação, apesar de estar associada a uma maior subjectividade do que as análises tipicamente quantitativas, apresenta um grau de fiabilidade aceitável no estabelecimento de um zonamento de risco preliminar que permite, desde já, uma hierarquização dos locais mais necessitados de estudo pormenorizado sobre a estabilidade das arribas com vista à possível implementação de medidas de estabilização e mitigação do risco, assim como a sua respectiva monitorização.

As arribas da praia da Zambujeira do Mar, para além de apresentarem condições propícias à ocorrência de frequentes e distintas situações de instabilidade que maximizam a perigosidade, ladeiam uma praia de considerável dimensão inserida na zona urbana da povoação, aumentando a vulnerabilidade de pessoas e bens e, consequentemente, o grau de risco. Este enquadramento claramente desfavorável justifica a realização de análises de estabilidade pormenorizadas, razão pela qual aquelas arribas, referidas como locais 2, 3 e 4 foram seleccionadas como casos prioritários de estudo para a 2ª fase de trabalhos inseridos nesta dissertação. Neste contexto foi realizado um pormenorizado reconhecimento geotécnico, a partir do qual se inventariaram as características geométricas e mecânicas das descontinuidades que compartimentam o maciço rochoso talhado pelas arribas, assim como o seu grau de meteorização.

Duas grandes dificuldades experimentadas pelo autor nesta investigação traduziram-se na impossibilidade de observar e interpretar as descontinuidades em zonas do maciço rochoso que não na base das arribas estudadas e na quase impossível realização de *scanlines* na perpendicular ao desenvolvimento da frente das mesmas. A primeira dificuldade resulta num possível aumento do erro associado à variabilidade nas características inventariadas, dado que uma mesma descontinuidade pode apresentar elevada variação em parâmetros tão distintos como a orientação, abertura e espaçamento da base para o topo da arriba. A segunda dificuldade tem impacto principalmente a nível do cálculo do RQD dado que, em maciços com presença de famílias dominantes, este índice apresenta elevada variação em função da orientação avaliada. Assim, apesar dos valores de RQD obtidos resultarem em volumes de bloco unitário concordantes com as observações de campo, concluiu-se que este índice não seria suficiente para expressar satisfatoriamente a qualidade do maciço rochoso em virtude da variabilidade das estruturas presentes. Optou-se então pela implementação das descrições pelo índice GSI, assim como a BGD com o objectivo de contrariar esta dificuldade, procedendo-se à estimativa dos parâmetros mecânicos necessários através de recolha bibliográfica da especialidade e ensaios de campo e laboratório.

A aplicação do índice GSI permitiu, através da utilização do *software Roclab®*, que utiliza as relações empíricas da versão mais recente do critério de rotura de Hoek-Brown, uma estimativa das características mecânicas à escala do maciço rochoso, confirmando efectivamente uma diferença significativa entre o local 2 (melhor qualidade) e os restantes, facilmente justificada pela predominância de grauvaques praticamente são afectados por fracturas de paredes rugosas e pouco meteorizadas. Estes resultados tentam compreender as heterogeneidades litológicas e estruturais típicas do *Flysch* pelo que, em teoria, poderão ser considerados como representativos à escala do maciço rochoso. Esta hipótese terá, no entanto, de ser confirmada anteriormente à sua utilização em qualquer projecto de execução obra, por exemplo pela realização de ensaios *in situ* e de laboratório adequados, nomeadamente no que respeita aos locais 3 e 4 em que os parâmetros resistentes serão algo subestimados.

A análise cinemática em rede estereográfica foi realizada através de duas metodologias distintas, qualitativa e quantitativamente. Foi possível verificar que no local 4 não existem condições para a ocorrência de roturas planar, cunha e tombamento, mas que no local 3 acontecem roturas por cunha e por tombamento. Já no local 2 verifica-se a possibilidade geométrica de ocorrência de rotura planar e por cunha, confirmadas no campo, apesar da inclinação da estratificação não ser, por regra, suficiente para vencer o atrito e desencadear o deslizamento. Estes resultados são concordantes com a análise quantitativa realizada, com o local 3 a verificar o enquadramento mais desfavorável, com IRT próximo de 50% e IRC = 40% na direcção N-S e nas zonas subverticais da arriba. Estas conclusões são confirmadas pelas observações *in loco*, tendo-se observado várias instabilizações durante os trabalhos de campo, ao contrário dos restantes locais. Pelo estudo da possibilidade de rotura por corte de blocos

em consola verificou-se que, para situações de fracturas muito persistentes (85-95%), a rotura é efectivamente o cenário recorrente para blocos de diferentes litologias, formas, e volumes e grau de meteorização.

Após a avaliação dos mecanismos de instabilidade estabeleceu-se um zonamento geotécnico para a frente das arribas estudadas a partir do qual foi reavaliado o risco preliminar para a praia da Zambujeira do Mar recorrendo à análise semi-quantitativa anteriormente utilizada. Verificou-se que o local 3 regista um índice de risco (IR) máximo na base, enquanto que, relativamente à crista, o local 4 apresenta a situação mais desfavorável em virtude da existência de fendas de tracção muito abertas rente ao muro. Assim, confirmam-se os resultados obtidos na fase preliminar deste trabalho para os locais 3 e 4 em termos de índice de risco (muito elevado), sendo que o local 2 é reavaliado com risco médio para a base e não significativo na crista. Esta variação é, efectivamente, prova, que a subjectividade inerente a esta metodologia de análise de risco é tanto menor quanto maior for o conhecimento das características geotécnicas dos maciços e seu respectivo comportamento. No âmbito da implementação de uma estratégia de gestão de risco completa e pró-activa, este trabalho finalizou-se com um exemplo de proposta de trabalhos para mitigação do risco que, tendo em conta a avaliação realizada, se considera adequada à problemática estudada nas arribas da praia da Zambujeira do Mar.

É opinião do autor que, tendo sido provada a validade da metodologia de avaliação do risco utilizada para as arribas da Zambujeira do Mar, a mesma poderá ser seguida nos restantes locais assinalados ao longo da orla costeira rochosa do Sudoeste Alentejano, até Sines. Como locais de intervenção prioritária destacam-se as praias da Samoqueira, Cerro da Águia, Malhão, Forte do Pessegueiro, Banho e Buizinhos que, não incluindo a Zambujeira do Mar, verificam os níveis de risco mais elevados. Tratando-se de um tema tão da ordem do dia, recorrente ao longo dos últimos anos pelo menos em período de época balnear, esta é, sem dúvida, a proposta considerada mais relevante para os trabalhos a realizar.

Não deixa contudo de ser passível de sofrer alguns ajustes, principalmente no que se refere:

- A uma pesquisa mais aprofundada sobre o historial de acidentes ocorridos sobre utilizadores das praias, bem como de uma cuidada avaliação de possíveis estruturas em risco dada a sua localização relativamente à crista das arribas; Este aspecto é particularmente relevante no caso de se vir a pretender efectuar estudos probabilísticos do risco, o que se prevê difícil dada a diminuta ocupação no referido trecho litoral, bem como a também reduzida afluência do público a todas essas praias, com excepção de dois ou três locais onde a praia é adjacente a um povoado;
- A realização de trabalhos semelhantes na praia do Carvalhal (concelho de Odemira), praia Grande, Cerca-a-Nova, e praia do Salto (concelho de Sines) que, apesar de não terem sido

sujeitas a avaliação neste estudo devido a constrangimentos de tempo, foram identificadas pela ARH-Alentejo como zonas de risco;

- Uma maior representatividade da amostragem efectuada no local para obtenção de um número julgado representativo de amostras para ensaios laboratoriais, nomeadamente de compressão uniaxial e de tracção, no caso da componente grauvacóide.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Admassu, Y. (2012). User's guide - DipAnalyst for windows: Software for Kinematic analysis of rock slopes, disponível em: <http://www.dipanalyst.com/DipAnalyst%20Manual.pdf>, Acesso em 12 Agosto de 2013.

Águas, C; Costa, C; Sá Caetano, P.; Vendas, D; Almeida, J.A & Verdial, P. (2006). *Estudo Geológico e Geotécnico das Pedreiras da Serafina (Parque de Monsanto, Lisboa)* Actas do 10º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, 10p.

Alves, S.P.G. (2011). *Análise do comportamento de pregagens seladas diferenciadamente através de ensaios em protótipos. Caso de Estudo - Barragem de Ribeiradio*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil - especialização em Geotecnia, Universidade do Porto, Porto, 134p.

ANPC (Autoridade Nacional de Protecção Civil) (eds.); DNPE (Direcção Nacional de Planeamento de Emergência) (coord.). (2010). *Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve*, 165p.

Amini, M.; Abas, M. & Veshadi, M. A. (2012). Stability Analysis of Rock Slopes Against Block-Flexure Toppling Failure. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **45**(4): 519-532.

ARH-Alentejo, I.P (Administração da Região Hidrográfica do Alentejo, I.P). (2012). *Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas Integradas nas Regiões 6 e 7. Região Hidrográfica 6 – Volume 1: Relatório; Parte 2: Caracterização e Diagnóstico; Tomo 1A: Caracterização territorial e fisiográfica – Peças escritas*, 242p.

Asadollahi, P. & Tonon, F. (2010). Constitutive model for rock fractures: Revisiting Barton's empirical model. *Engineering Geology*, **113**: 11–32.

ASTM D7012 (2007). *Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures*. ASTM International, West Conshohocken.

Aydin, A. (2009). Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* **46**(3): 627-634.

Bastos, M. R.; Dias, J. A.; Baptista, M.e & Batista, C. (2012). Ocupação do Litoral do Alentejo, Portugal: Passado e Presente. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **12**(1): 99-116.

Bettencourt, P., Alcobia, S., Diamantino, C., Oliveira, J. & Dumas, G. (2009). *Levantamento preliminar de áreas de risco em zonas inseridas no POOC de Sines – Burgau (Costa Alentejana)*. 1º Relatório, Relatório Técnico não publicado, NEMUS, Agosto 2009, 27p.

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*. John Wiley & Sons, 251p.

- Borges, J.; Fitas, A.; Bezzeghoud, M. & Teves-Costa, P. (2001). Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area. *Tectonophysics*, **331**(4): 373-387.
- Borradaile, G. (2003). *Statistics of earth science data*. Springer, New York, USA, 351p.
- Brady, B. H. G. & Brown, E.T. (2005). *Rock mechanics for underground mining*. Springer Science & Business Media, Inc, 3rd Ed, 628p.
- Bromhead, E. N. (1992). *The stability of slopes*. Chapman & Hall, London, 2nd. Ed, 411p.
- Bruce I.G.; Kruden, D.M. & Eaton T.M. (1989). Use of a tilting table to determine the basic friction angle of hard rock samples, *Canadian Geotechnical Journal*, **26**: 474-479.
- Catalão, J.; Catita, C.; Miranda, J. & Dias, J. (2002). Analyse photogrammétrique de l'érosion côtière en Algarve (Portugal). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, **8**(2): 119-126.
- Cabral, J. (2012). Neotectonics of mainland Portugal: State of the art and future perspectives. *Journal of Iberian Geology*, **38**(1): 71-84.
- Cândido, M, A, F. (2010). *Contributo para a gestão do risco geotécnico na gestão de túneis*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 185p.
- Cardoso, D., Romana Garcia, M. & Sánchez, M. (2010). *Método de avaliação do risco associado a desprendimentos em taludes em rocha (como parte do projecto de investigação cota)*, In: 12º Congresso Nacional de Geotecnia, Guimarães, Portugal, 10p.
- CEHIDRO (Centro de Estudos dos Hidrossistemas). (1999). *Carta de Risco do Litoral –Notícia Explicativa. Trecho 8: Sines – Cabo de S. Vicente*, Dezembro de 1999, 15p.
- Corominas, J. (1996). Debris slide. In Dikau, R ; Brunsden, D. ; Schrott, L. & Ibsen, M. L. (eds.), *Landslide recognition: Identification, movement and courses*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Report no. 1 of the European Commission Environmental Programme, pp. 97-102.
- Costa, E. (1993). Hidrogeologia. In Inverno, C. ; Manupella, G. ; Zbyszewski, G. ; Pais, J. & Ribeiro, M. (coord.), *Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000. Notícia Explicativa da Folha 42-C*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, pp. 59-65.
- Costa, R. C. F. (2009). *A Geologia do PNSACV. Caracterização Geral e Propostas Educativas*. Dissertação de Mestrado em Ciências da Terra e da Vida, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 117p.
- Costa, C; Sá Caetano, P; Brito, G. & Vendas, D. (2009). *Estudo preliminar do risco associado à instabilidade de arribas no troço entre Cabo Espichel e Setúbal*. Relatório técnico não publicado, FCT-UNL, 33p.

- Costa, C & Sá Caetano, P (coord.). (2010). *Estabilidade e trabalhos de estabilização de arribas de praia na região de Sesimbra e do litoral Alentejano*. Relatório Síntese não publicado, Egiamb, Lda. 28p.
- Costa, C & Sá Caetano, P (coord.). (2011). *Proposta de interdição de praias na faixa tutelada pela ARH-Alentejo*. Parecer técnico não publicado, Egiamb, Lda., 10p.
- Daveau, S. (1997). O Clima – Comentários e Actualização. In Ribeiro, O. ; Lautensach, H. & Daveau, S. *Geografia de Portugal. II – O Ritmo Climático e a Paisagem*. Edições João Sá da Costa, Lisboa, pp. 387-398.
- Davis Jr., R. & Fitzgerald, D. (2004). *Beaches and Coasts*. Blackwell Publishing, United Kingdom, 419p.
- Deere, P. V. (1964). Technical description of cores for engineering purposes. *Felsmech Ingenieurgeol.* **1**: 16-22.
- Deere, D.U. & Deere, D. W. (1988). The rock quality designation (RQD) index in practice. In : *Rock Classification System for Engineering Purposes*, ASTM STP 984, Lois Kirkaldie, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 91-101.
- Dias, R. & Basile, C. (2013). Estrutura dos sectores externos da Zona Sul Portuguesa; implicações geodinâmicas. In: Dias, R. ; Araújo, A. ; Terrinha, P. & Kullberg, J.C. (eds.), *Geologia de Portugal: Volume 1. Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Escolar Editora, Lisboa, pp. 787-805.
- DRAA (Direcção Regional do Ambiente do Alentejo). (1998). *Carta Verde do Litoral Alentejano*. Ministério do Ambiente, Lisboa, 42p.
- Dinis, J. & Tavares, A. (2005). *Susceptibilidade Geomorfológica da Costa Ocidental Portuguesa a Tsunamis*. Comunicações ao III Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Maputo, (CD-ROM).
- Eberhardt, E. (2003). Rock Slope Stability Analysis: Utilization of Advanced Numerical Techniques, Lecture Series for Geological Engineering/Ocean and Earth Sciences, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 41p.
- Eberhardt, E. (2012). The Hoek–Brown Failure Criterion. *Rock Mechanics and Rock Engineering* **45**: 981–988. Springer-Verlag.
- Einstein, H.H., Veneziano, D., Baecher, G.B. & O'Reilly, K.J. (1983), The effect of discontinuity persistence on rock slope stability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* **20**: 227-236.
- Epifânio, B.; Zêzere, J. L. & Neves, M. (2013). Identification of hazardous zones combining cliff retreat rates with landslide susceptibility assessment. In: Conley, D.C.; Masselink, G.; Russell, P.E.;

O'Hare, & T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue **65**: 1681-1686.

Estêvão, C. M. S. V. (2010). *O Património Geológico em Áreas Protegidas no Maciço Ibérico: Inventariação de Geossítios baseada em pesquisa bibliográfica*. Dissertação de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação, Universidade do Minho, Braga, 154p.

Feio, M. (1952). *A Evolução do Relevo do Baixo Alentejo e Algarve: Estudo de Geomorfologia*. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 189p.

Feio, M. (1984). Geomorfologia. In: J. T. Oliveira, (coord.), *Carta Geológica de Portugal, escala 1:200 000. Notícia Explicativa da Folha 7*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, pp. 11-16

Ferreira, A. M. P. J. (2000). *Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional*. Dissertação de Doutoramento em Geociências, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, 226p.

Filipe, L.; Gamboa, M.; & Sirgado, J. R. (1998). *Ordenamento do Litoral. A Orla Costeira Sado-Sines*. Actas do 4º Congresso da Água, Lisboa, 23p.

Fontinhas, A., M., P. (2012). *Aplicação do SMR na avaliação da estabilidade de taludes de escavação em grauvaques da Formação de Mértola*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica (Geotecnia), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 75p.

Giani, G.P. (1992). *Rock slope stability analysis*. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 345p.

Gokceoglu, C.; Sonmez, H. & Ercanoglu, M. (2000). Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altindag (settlement) region in Turkey, *Engineering Geology*, **55**: 277-296

Gomes, R. (2011). Contributo para a caracterização geotécnica dos gabros da faixa Beringel-Beja. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica (Geotecnia), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 99p.

Goodman, R. E. (1989). *Introduction to rock mechanics*. John Wiley & Sons, New York, USA, 562p.

Hoek, E. & Bray, J. W. (1981). *Rock slope engineering*. The Institution of Mining and Metallurgy, London, United Kingdom, 358p.

Hoek, E. & Brown, E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *Intern. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomech. Abstracts*. **34**(8): 1165-1186.

Marinos, P. e Hoek, E. (2001). Estimating the geotechnical properties

Hoek, E.; Marinos, P. & Benissi, M. (1998) Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. **57**: 151–160, Springer-Verlag.

- Hoek, E.; Carranza-Torres, C.T. & Corkum, B. (2002) *Hoek–Brown failure criterion*—2002 edition. In: Hammah, R.; Bawden, W.; Curran, J. & Telesnicki, M. (eds) *Proceedings of the Fifth North American Rock Mechanics Symposium (NARMS-TAC)*, University of Toronto Press, Toronto, pp 267–273.
- Hoek, E. (2007). *Practical rock engineering*. Rocscience: Hoek's Corner. Disponível em: <<http://www.rocscience.com>>. Acesso em 25 Junho 2013.
- Hoek, E. (2009), *Fundamentals of Slope Design*, Keynote address In: *Slope Stability 2009*, Santiago, Chile, 26p.
- Hudson, J. A. & Harrison, J. P. (1997). *Engineering rock mechanics - An introduction to the principles*. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, 444p.
- ICN (Instituto de Conservação da Natureza). (2006). *Turismo de Natureza. Enquadramento Estratégico do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina*, 30p.
- ICNB (Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade). (2008). *Plano de Ordenamento do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina. Estudos de Base – Etapa 1: Descrição. Volume III*. Lisboa, 211p.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics) .(1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*. **15**: 319-368.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics) .(1979). Suggested methods for determining water content, porosity density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts* **16**: 141-156.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics), Commission on the classification of rocks and rock masses (1981). Basic geotechnical description of rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts* , **18**: 85-110.
- Johnston, A. & Kanter, L. (1990). Earthquakes in Stable Continental Crust. *Scientific American*, **262**(3): 68-75.
- Johnson, R. B & Degraff, J. (1988). *Principles of engineering geology*. John Wiley & Sons, New York, USA, 497p.
- Kliche, C.A., (1999). *Rock Slope Stability*, SME, Littleton, CO, 245p.
- Lamas, P. C. C. (1998). *Os Taludes da Margem Sul do Tejo. Evolução Geomorfológica e Mecanismos de Rotura*. Dissertação de Doutoramento em Geotecnia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 379p.

- Lavaredas, J. M., & Silva, M. (1998) O. Contribuição para Conhecimento Hidrogeológico do Sistema Aquífero de Sines, *In: 4º Congresso da Água*, Lisboa, Portugal, 17p.
- Marinos, P. & Hoek, E. (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* **60**:85-92.
- Marinos, V.; Marinos, P. & Hoek, E. (2005), The Geological Strength Index: Applications and Limitations, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **64**: 55-65.
- Marques, F. M. F. (1997). *As arribas do litoral do Algarve. Dinâmica, processos e mecanismos*. Dissertação de Doutoramento em Geologia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 556p.
- Marques, F. M. F. (2009). Sea cliff instability hazard prevention and planning: examples of practice in Portugal. *Journal of Coastal Research*, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium), pp.856-860.
- Marques, F. M. F. & Romariz, C. (1991). *Nota preliminar sobre a evolução de arribas litorais*. 4ºCongresso Nacional de Geotecnia, SPG, Lisboa, Portugal, pp. 57-66.
- Maurenbrecher, P.M. & Hack, H. R. G. K. (2007). Toppling Mechanism: Resolving the question of alignment of slope and discontinuities, *The Second Half Century of Rock Mechanics*, Proceedings of the 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics: the second half century of rock mechanics, Lisboa, Portugal, pp. 725-728.
- Meneses, B. M. C. (2011). *Susceptibilidade e Risco de Movimentos de Vertente no Concelho de Tarouca*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa. Lisboa, 115p.
- Oliveira, J. T. (1984). Zona Sul Portuguesa. *In* J. T. Oliveira, (coord.), *Carta Geológica de Portugal, escala 1:200 000. Notícia Explicativa da Folha 7*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, pp. 17-26.
- Oliveira, J. T. (1990). South Portuguese Zone. Stratigraphy and synsedimentary tectonism. *In*: Dallmeyer, R. D. & Garcia, E.M. (eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, pp. 334-347.
- Oliveira, J. T.; Matos, J. X.; Pereira, Z.; Relvas, J.; Rosa, C.; Rosa, D.; *et al.*, (2013). Geologia Sul Portuguesa, com ênfase na estratigrafia, vulcanologia física, geoquímica e mineralizações da faixa piritosa. *In* Dias, R. ; Araújo, A. ; Terrinha, P. & Kullberg, J.C. (eds.), *Geologia de Portugal: Volume 1. Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Escolar Editora, Lisboa, pp. 673-765.
- Palmström, A. (2005). Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, **20**(4):362-371.
- Palmström, A. & Broch, E. (2006), Use and Misuse of Rock Mass Classification Systems with particular reference to the Q-System, *Tunnels and Underground Space Technology*, **21**: 575-593

- Park, H., West, T. R. & Woo, I. (2005). Probabilistic analysis of rock slope stability and random properties of discontinuity parameters, Interstate Highway 40, Western North Carolina, USA, *Engineering Geology*, **79**: 230-250
- Pedro, J. M. C. (2004). *Estudo Geológico e Geoquímico das Sequências Ofiolíticas Internas da Zona de Ossa Morena (Portugal)*. Dissertação de Doutoramento em Geologia, Universidade de Évora, Évora, 225p.
- Pedro, J. M. C.; Araújo, A.; Fonseca, P. E. & Munhá, J. M. (2005). Sequências ofiolíticas internas da zona de Ossa-Morena: implicações geodinâmicas na evolução da Cadeia Varisca Ibérica. *Cadernos Lab. Xeológico de Laxe*, **30**: 235-258.
- Pereira, Z.; Matos, J. X.; Fernandes, P. & Oliveira, J.T. (2007). Devonian and Carboniferous palynostratigraphy of the South Portuguese Zone, Portugal: An overview. *Comunicações Geológicas*, **94**: 53-79.
- Piedade, A.M.M. (2009). *Modelação Espacial em Sistemas de Informação Geográfica da Susceptibilidade a deslizamentos na área de Lousa-Loures*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 114p.
- Pinho, A. B. (2003). *Caracterização Geotécnica de Maciços Rochosos de Baixa Resistência. O Flysch do Baixo Alentejo*. Dissertação de Doutoramento em Geologia, Universidade de Évora, Évora, 272p.
- Polemio, M. & Petrucci, O. (2000). Rainfall as a Landslide Triggering Factor: An Overview of Recent International Research. In Bromhead, E. ; Dixon, N. & Ibsen, M. L., (eds.), *Landslides in research, theory and practice*. Thomas Telford, London, pp. 1219-1226.
- Poropat, G. V. (2009). *Measurement of Surface Roughness of Rock Discontinuities*, RockEng09: Proceedings of the 3rd Canada-US Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada, 9p.
- Priest, S. D. & Hudson, J. A. (1976). Discontinuity spacing's in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*. **13**, 135-148.
- Priest, S. D. & Hudson, J. A. (1981). Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*., **18**: 183-197.
- Ramos Pereira, A. (1987). *Acumulações arenosas eólicas consolidadas do litoral do Alentejo e Algarve ocidental (Relatório nº 27)*. Linha de Acção de Geografia Física, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 113p.

- Ribeiro, A.; Quesada, C. & Dallmeyer, R.D. (1990). Geodynamic evolution of the Iberian Massif. *In*: Dallmeyer, R. D. & Garcia, E.M., (eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, pp. 348-362.
- Ribeiro, A. (2013). Evolução geodinâmica de Portugal. Os ciclos ante-mesozóicos. *In*: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J. C. Kullberg, (eds.), *Geologia de Portugal: Volume 1. Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Escolar Editora, Lisboa, pp. 15-58.
- Richards, K.S. & Lorriman, N.R. (1987). *Basal erosion and mass movement*. *In* M.G. Anderson & K.S. Richards (eds.), *Slope Stability*. John Wiley & Sons Ltd., London, Chapter 10, pp. 331-357.
- Rocha, M. (1976). *Estruturas subterrâneas*. LNEC, Lisboa.
- Rocha, M. (1981). *Mecânica das rochas*. LNEC, Lisboa, 445p.
- Romana, M. (1993). *A geomechanical classification for slopes: slope mass rating*. Rock Testing and Site Characterization, 3, 45p.
- Santos Pereira, C. M. (2007). *Compartimentação de maciços pela técnica de amostragem linear: o caso da pedreira da Mimosa*. Dissertação de Mestrado em Minerais e Rochas industriais (área de georrecursos), Universidade de Aveiro, Aveiro, 128p.
- Silva, J.; Pereira, M.; Chichorro, M. (2013). Estrutura das áreas internas da Zona Sul Portuguesa no contexto do Orógeno varisco. Dias, R.; Araújo, A.; Terrinha, P. & Kullberg, J.C., (eds.), *Geologia de Portugal: Volume 1. Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Escolar Editora, Lisboa, pp. 767-786.
- Sociedade Polis Litoral Sudoeste (2013). *Polis Litoral Sudoeste – Consolidação de arribas e redução das zonas de risco*, comunicação interna (não publicado), Junho 2013, 11p.
- Stimpson, B. (1981). A suggested Technique for Determining the Basic Friction Angle of Rock Surfaces using Core Samples. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*, **18**: 63-65
- Tesfamariam, E. K. (2007), *Comparing Discontinuity Surface Roughness Derived from 3D Terrestrial Laser Scan Data with Traditional Field-Based Methods*, masters degree dissertation, specialisation in geological engineering, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, 96p.
- Teixeira, S. B. (2006). Slope mass movements on rocky sea-cliffs: A power-law distributed natural hazard on the Barlavento Coast, Algarve, Portugal. *Continental Shelf Research*, **26**: 1077-1091.
- Teixeira, S. B. (2009). *Geodinâmica, Ocupação e Risco na Praia Maria Luísa (Albufeira): Relatório*, Departamento de Recursos Hídricos do Litoral, Faro, 25p.
- USGS (United States Geological Survey). (2004). *Landslide types and processes*. Fact Sheet no. 2004-3072, 4p.

Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall, Madrid, 715p.

van Westen, C.J.; van Asch, T. W. & Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. **65**: 167-184. Springer-Verlag

Varnes, D. L. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO – Landslides Hazards, Series 3, Paris, 63p.

Viles, H. & Spencer, T. (1995). *Coastal problems: Geomorphology, ecology and society at the coast*. Edward Arnold, London, 350p.

Wines, D.R. & Lilly, P.A. (2002). Measurement and analysis of rock mass discontinuity spacing and frequency in part of the Fimiston Open Pit operation in Kalgoorlie, Western Australia: a case study, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **39**: 589-602.

Wyllie, D. C. (1991). *Rock slope stabilization and protection measures*. In: National Symposium on Highways and Railroads Slope Maintenance. Association of Engineering Geologists, Chicago – Illinois, pp. 41-64.

Wyllie, D. C. & Mah, C. W. (2004). *Rock slope engineering - Civil and mining*. 4ª edição, Spon Press, 431p.

Yoon, W. S.; Jeong, U. J. & Kim, J. H. (2002). Kinematic analysis for sliding failure of multi-faced rock slopes, *Engineering Geology*, **67**: 51-61

Zbyszewski, G. & Pais, J. (1993). Cenozóico. In: Inverno, C. ; Manupella, G. ; Zbyszewski, G. ; Pais, J. & Ribeiro, M., (coord.) *Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000. Notícia Explicativa da Folha 42-C*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, pp. 29-34.

Zêzere, J. (2005). *Dinâmica de vertentes e risco geomorfológico*. Centro de Estudos Geográficos, Relatório N.º41, Lisboa, 128p.

Zêzere, J. (1997). *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa, 575p.

ANEXOS

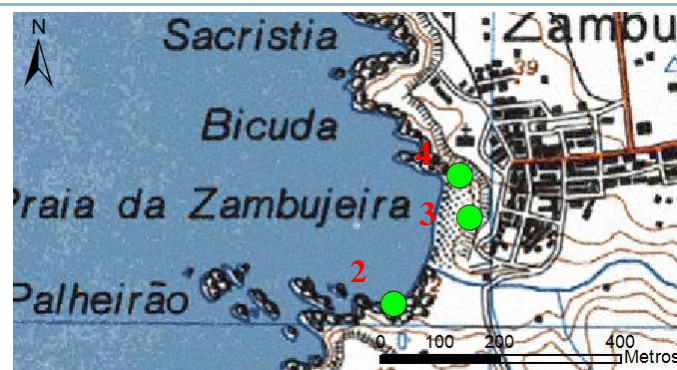
ANEXO I – FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS INVENTARIADOS NA
AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO RISCO

Designação	
2	Praia da Zambujeira do Mar (sul)
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
142147	61925



Descrição	Praia com forte procura na época balnear limitada a sul por arribas rochosas pouco inclinadas de considerável altura (cerca de 22 m) com orientação aproximada N60°W, prolongando-se por uma extensão aproximada de 100 m. Observam-se evidências de antigos escorregamentos (planares), bem como blocos destacados de relativamente pequena volumetria ao longo da face da arriba. Na base identifica-se um cone de detritos de granulometria grosseira proveniente da instabilização das litologias de cobertura menos competentes. Na zona oeste da arriba observa-se uma grande cavidade resultante da acção marinha e subaérea (associada à linha de água que desagua naquele local). O maciço rochoso encontra-se muito fracturado, evidenciando-se famílias com diferentes atitudes.		
Enquadramento geológico	Arriba talhada essencialmente em grauvaques de granulometria grosseira pertencentes à Fm. Brejeira, alternando com raros níveis xistentos. Os grauvaques dispõem-se em bancadas relativamente espessas, por vezes finamente laminadas. A estratificação destas camadas é concordante com a inclinação do talude, promovendo condições para a ocorrência de escorregamentos planares. No topo, em desconformidade, desenvolvem-se areias dunares plio-quadernárias com diferentes graus de consolidação.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Verificado	Associados às litologias de cobertura no topo da arriba.
	Queda de blocos	Verificado	Consolas nas zonas de subscavação.
	Escorregamentos planares	Verificado	Pontuais e promovidos pela inclinação desfavorável da estratificação.
	Cunhas	Não verificado*	*É, no entanto, esperada a sua ocorrência devido à combinação geométrica das famílias de descontinuidades.
	Tombamentos	Não verificado	-
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Muito elevada	Muito elevada	Muito elevado
Observações	Fácil acessibilidade pedonal e rodoviária, sustentada por rampas em madeira e via asfaltada respectivamente. Sinalização com boa visibilidade na base mas ausente na crista. A ocorrência de vegetação rasteira no topo da arriba pode favorecer a fixação dos terrenos de cobertura sem, no entanto constituir obstáculo ao deslocamento de eventuais blocos de maior dimensão. Perto da crista encontram-se ainda duas estruturas que poderão contribuir para a instabilização dos terrenos de cobertura. Verifica-se a ausência geral de blocos instabilizados ao longo da base da arriba, situação que facilita a disposição de alguns utentes perto deste local.		

Designação	
3	Praia da Zambujeira do Mar (este)
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
142213	62107



Descrição	Praia muito frequentada em zona urbana encaixada entre arribas altas intensamente fracturadas e meteorizadas. O limite este corresponde a uma arriba de cerca de 70 m de extensão e 20 m de altura. A direcção é variável, desenvolvendo-se desde NW-SE até aproximadamente N-S, sendo que a inclinação varia de 50-90° para SW ao longo de uma apreciável extensão da praia. Observam-se evidências de recentes e antigas quedas de blocos e tombamentos em virtude da combinação da atitude das várias famílias de fracturação com o plano da arriba e da formação de consolas a meia encosta devido à erosão diferencial. Ao longo do pé da arriba desenvolve-se um extenso tapete de material rochoso já instabilizado. Observam-se ainda blocos de maiores dimensões com clara tendência para a instabilização destacados por fracturas subverticais.		
Enquadramento geológico	Arriba constituída maioritariamente por alternâncias de xistos cinzentos e negros e algumas bancadas grauvacóides da Fm. Brejeira, com a estratificação a desenvolver-se em bancadas finas, segundo uma direcção paralela à face da arriba. Os grauvaques são de grão mais fino na base, apresentando-se gradualmente mais grosseiros para o topo. Os xistos apresentam-se em geral bastante meteorizados, assim como os grauvaques, que denotam alguma descoloração.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Não verificado	-
	Queda de blocos	Verificado	Muito comuns ao longo de toda a arriba e associados blocos e de pequena a média dimensão devido à elevada compartimentação do maciço.
	Escorregamentos planares	Não verificado	-
	Cunhas	Verificado	Em virtude da combinação geométrica das famílias de fracturação e estratificação.
	Tombamentos	Verificado	Promovem as situações mais preocupantes devido ao elevado volume dos blocos tombados. Em Maio de 2013 um bloco de volume estimado 1,2 a 1,6 m ³ foi alvo deste mecanismo.
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Muito elevada	Muito elevada	Muito elevado
Observações	A estrada marginal desenvolve-se paralelamente à arriba, localizando-se, assim como o muro que a ladeia, bastante próximo da sua crista. O acesso pedonal faz-se facilmente através de um lanço de escadas ou pela praia a sul na maré baixa. O último trecho do lanço de acesso encontra-se actualmente interditado devido à instabilidade verificada na saliência rochosa sobrejacente. Alternativamente foi construído outro trecho a sul para viabilizar o acesso. A sinalização de perigo é bem visível na base da arriba encontra-se em falta na crista. A vegetação na face da arriba é incipiente e não constitui obstáculo à queda de blocos. Refere-se ainda que, em virtude das várias instabilizações verificadas nesta arriba, procedeu-se à interdição da área junto à base através da colocação de uma fita de protecção que é, no entanto, facilmente transposta.		

Designação	
4	Praia da Zambujeira do Mar (norte)
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
142196	62189



Descrição	Praia com forte procura na época balnear limitada a sul por arribas rochosas pouco inclinadas de considerável altura (cerca de 22 m) com orientação aproximada N60°W, prolongando-se por uma extensão aproximada de 100 m. Observam-se evidências de antigos escorregamentos (planares), bem como blocos destacados de relativamente pequena volumetria ao longo da face da arriba. Na base identifica-se um cone de detritos de granulometria grosseira proveniente da instabilização das litologias de cobertura menos competentes. Na zona oeste da arriba observa-se uma grande cavidade resultante da acção marinha e subaérea (associada à linha de água que desagua naquele local). O maciço rochoso encontra-se muito fracturado, evidenciando-se famílias com diferentes atitudes.		
Enquadramento geológico	Arriba talhada essencialmente em grauvaques de granulometria grosseira pertencentes à Fm. Brejeira, alternando com raros níveis xistentos. Os grauvaques dispõem-se em bancadas relativamente espessas, por vezes finamente laminadas. A estratificação destas camadas é concordante com a inclinação do talude, promovendo condições para a ocorrência de escorregamentos planares. No topo, em desconformidade, desenvolvem-se areias dunares plio-quaternárias com diferentes graus de consolidação.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Não verificado	-
	Queda de blocos	Verificado	Associados à elevada compartimentação do maciço rochoso ou à sua descompressão no topo (destaque por fendas de tracção).
	Escorregamentos planares	Não verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado	-
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Muito elevada	Muito elevada	Muito elevado
Observações	A crista da arriba encontra-se urbanizada, com destaque para a capela de N.ª Sr.ª do Mar e do muro que a rodeia, estando estas estruturas muito próximas do bloco destacado pela fenda de tracção. O acesso faz-se igualmente pelas escadas de acesso referidas anteriormente. A maior parte da frente da arriba encontra-se desprovida de vegetação, sendo que a sinalização, apesar de ter boa visibilidade na base da arriba, não se encontra disponível na zona da crista.		

Designação	
5	Praia do Almogrove
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
140587	76142






Descrição	Esta praia localiza-se fora do centro urbano de Almogrove, sendo que a frente balnear possui cerca de 450m de extensão. É ladeada a sul por uma arriba sub-vertical com 7 m de altura e direcção N38°W. Esta arriba não apresenta sinais de instabilização, com excepção do escorregamento de algumas lâminas xistentas de reduzida dimensão. No limite este desenvolvem-se arribas baixas com perfis suaves, observando-se por vezes alguns blocos caídos de pequena dimensão junto à sua base. Na zona central da praia encontra-se um leixão actualmente isolado da linha de arribas. Esta estrutura apresenta-se afectada pela erosão marinha que promove a formação de cavidades por subscavação. Na arriba central observam-se ainda alguns blocos destacados por fracturas subverticais e pequenos ravinamentos.		
Enquadramento geológico	Arriba talhada essencialmente em grauvaques de granulometria grosseira pertencentes à Fm. Brejeira, alternando com raros níveis xistentos. Os grauvaques dispõem-se em bancadas relativamente espessas, por vezes finamente laminadas. A estratificação destas camadas é concordante com a inclinação do talude, promovendo condições para a ocorrência de escorregamentos planares. No topo, em desconformidade, desenvolvem-se areias dunares plio-quadernárias com diferentes graus de consolidação.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Verificado	Associados aos níveis detríticos com alguma consolidação no topo das arribas e mais comuns no centro e norte da praia.
	Queda de blocos	Verificado	Esporadicamente ao longo das arribas no limite este. Possíveis ocorrências de relevo através do destaque de alguns blocos no leixão.
	Escorregamentos planares	Verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado*	*Considerar a possibilidade de tombamento dos blocos no leixão.
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Média	Muito elevada	Reduzida
Observações	O acesso pedonal é feito a partir de escadas de madeira bem conservadas na zona norte e sul da praia, que dispõem igualmente de parques de estacionamento que facilitam o acesso rodoviário. Perto destes locais foram ainda implementadas algumas infra-estruturas para uso civil (WC) próximas do coroamento das arribas. É importante referir que a comunicação da metade norte da praia com a metade sul é feita a partir de uma passagem entre o leixão e a arriba. Verifica-se ainda que a ocupação humana nesta última metade é inferior à observada na metade norte devido à maior proximidade do parque de estacionamento e estrada de acesso principal. A sinalização de perigo é bem visível por todo o areal, com destacando-se na base das arribas da zona sul e nas proximidades do leixão.		


Designação	
6	Sul da praia dos Ouriços
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
140957	76618



--



Descrição	Pequena praia de areia encaixada entre arribas rochosas e que não ultrapassam os 8 m de altura. A arriba sul tem uma atitude aproximada N50°W48°NE e cerca de 10 m de extensão, sendo que a sua frente exibe indícios de escorrência superficial possivelmente associados à linha de água que aqui aflui. Observa-se ainda um bloco de pequena dimensão destacado por uma fenda de tracção à retaguarda. A arriba norte é fortemente afectada por erosão diferencial que deixa em relevo as camadas mais competentes. Estas camadas encontram-se bastante afectadas pela fracturação, definindo pequenos blocos que poderão sofrer queda. As formações detríticas plio-pleistocénicas são responsáveis por algumas situações de instabilidade superficial que se traduzem em ravinamentos e escorregamentos circulares superficiais.		
Enquadramento geológico	O Carbonífero marinho é representado pela Fm. Mira. A arriba sul é quase na sua totalidade modelada em xistos cinzentos dobrados e mais alterados para o topo. Por outro lado, na arriba Norte destacam-se bancadas pouco espessas de grauvaque que, tal como na praia do Almogrove, evidenciam fendas de tracção subverticais preenchidas por quartzo de exsudação. Em desconformidade sobre estas arribas começa a evidenciar-se a formação marinha de Aivados-Bugalheira, encimada por areias dunares quaternárias.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Verificado	Pouco relevantes.
	Queda de blocos	Verificado	Maior incidência na arriba norte mas pouco relevante devido às pequenas dimensões dos blocos.
	Escorregamentos planares	Não verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado	-
	Outros	Verificado	Escorregamento circular superficial nos arenitos dunares consolidados. Pouca relevância.
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Reduzida	Elevada	Reduzida
Observações	O acesso pedonal a esta praia é feito através de um caminho que se desenvolve ao longo da crista das arribas e com início no parque de estacionamento a norte da praia de Almogrove. A utilização deste acesso implica passagem directamente sob algumas bancadas rochosas em relevo positivo. Neste local ocorre o desprendimento de pequenas lâminas de xisto, como testemunham alguns detritos já instabilizados observáveis ao longo das escadas. A reduzida dimensão da praia, em conjunto com o acesso relativamente mais íngreme, contribui para uma ocupação humana mais restrita. Observa-se ainda parca sinalização quer na crista quer na base das arribas desta praia.		

Designação	
7	Praia das Furnas
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
142245	83148





Descrição	Praia extensa ladeada por arribas de relativamente reduzida altura (não ultrapassam os 10 m). O perfil destas arribas (sub-vertical) é fortemente modelado pela erosão marinha, que favorece a subscavação do maciço rochoso formando cavidades por vezes com dezenas de metros de diâmetro. Estes locais coincidem normalmente com zonas de intensa deformação local, nomeadamente charneiras de dobra, onde se verificam pontualmente escorrências provenientes da percolação nas fracturas destas estruturas. Em virtude deste intenso recuo basal observam-se sinais de descompressão do maciço, com desenvolvimento de fendas de tracção subverticais no tecto das cavidades. A fracturação sub-vertical é responsável pelo destaque de alguns blocos de maior dimensão. Na base das arribas observa-se uma camada de material instabilizado e fortemente meteorizado comum a toda a extensão da praia.		
Enquadramento geológico	A sedimentação turbidítica é aqui muito evidente, sendo as arribas talhadas maioritariamente em níveis de pelitos cinzentos muito meteorizados e níveis mais grauvacóides fortemente fracturados pertencentes à Fm. Mira. A estratificação é muito fina, não ultrapassando os 5 cm de possança. Na frente da arriba não se observam geralmente consolas de grande balanço e espessura, o que demonstra a relativa homogeneidade na resistência mecânica destas formações. Superiormente observam-se arenitos plio-pleistocénicos que são, no entanto, pouco representativos. O extenso areal desta praia deve-se aos cordões dunares associados à embocadura do rio Mira.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Não verificado	-
	Queda de blocos	Verificado	Essencialmente quedas de lâminas de pequenas dimensões em virtude da fracturação e meteorização das litologias. Comum em toda a extensão das arribas, principalmente em relevos de erosão diferencial..
	Escorregamentos planares	Não verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado	-
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Elevada	Elevada	Reduzida
Observações	O acesso à praia das Furnas é feito por um caminho de terra batida em mau estado de conservação, sendo que junto ao areal existe um pequeno parque de estacionamento para veículos rodoviários. A camada de detritos na base das arribas e a presença de vegetação, em conjunto com o extenso areal disponível, previne a ocupação de zonas muito próximas da arriba. Refere-se no entanto que o areal sob as cavidades é esporadicamente ocupado, tendo-se encontrado restos de fogueiras. Não se prevê o colapso dos tectos destes locais devido à grande espessura de maciço sobrejacente, no entanto quedas de pequenos blocos devem ser considerados, especialmente nos locais de charneira de dobra. A sinalização de perigo encontra-se em locais bem visíveis na base de algumas arribas.		

Designação	
8	Praia do Malhão
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
141151	90841



Vista
para
sul




Vista
para
norte



Descrição	Possuindo uma frente balnear de cerca de 300 m de extensão, a praia do Malhão é caracterizada por arribas que raramente ultrapassam os 8m de altura. A inclinação das mesmas é próxima da sub-vertical nos limites norte e sul, sendo que no limite Este o pendor aparenta ser mais suave. Na zona sul da praia evidenciam-se bancadas de arenito dunar consolidado afectadas por mecanismos de tombamento em virtude da erosão marinha e subaérea (precipitação e escorrência superficial) das camadas subjacentes, menos competentes. O destaque dos blocos (por vezes mais de uma dezena de metros de comprimento e de largura) é feito através de fendas de tracção sendo que, após sofrerem rotura, são deslocados e acumulados na vertente e base das arribas constituindo protecção temporária contra a erosão marinha, como se verifica pelos testemunhos de antigas instabilizações. Para Norte observam-se fenómenos de erosão diferencial que favorecem o destaque de blocos mais resistentes que, pontualmente, sofrem rotura por corte ou tracção. Pode verificar-se a ocorrência de instabilizações esporádicas das areias de cobertura, particularmente nos locais associados à descarga de linhas de água.		
Enquadramento geológico	As arribas da praia do Malhão são maioritariamente modeladas em alternâncias de litologias plio-pleistocénicas, nomeadamente arenitos dunares com diferentes graus de consolidação carbonatada que se desenvolvem sobre xistos e grauvaques do Carbonífero marinho. Na zona sul da praia afloram arenitos dunares com cimentação carbonatada e responsáveis pelas situações de maior perigosidade. Numa arriba na zona Norte da praia conseguem evidenciar-se as litologias turbidíticas da Fm. Brejeira assim como uma intrusão ígnea em soleira associada à instalação do complexo ígneo de Sines. Comum a todas as arribas é a cobertura de areias dunares não consolidadas.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Não verificado	-
	Queda de blocos	Verificado	-
	Escorregamentos planares	Não verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Verificado	Associados à erosão diferencial verificada nas arribas da zona sul da praia. Os blocos na base da arriba testemunham antigos movimentos.
	Outros	Verificado	Cones de dejectação de material proveniente da crista em virtude do transporte pelas linhas de água.
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Muito elevada	Elevada	Médio
Observações	O acesso rodoviário à praia do Malhão é feito por estrada de terra batida que intersecta os campos dunares. Existem diversos trilhos e estacionamento improvisados na proximidade da crista das arribas, tendo-se observado diversas situações de veículos estacionados em zona dunar, com destruição da vegetação. O acesso pedonal faz-se mediante caminhos de terra e escadas colocadas na crista da arriba ao longo da extensão da praia. A sinalização é inexistente na crista das arribas, tendo-se verificado a colocação de algumas placas referentes ao perigo de queda de blocos na zona norte da praia.		

Designação	
9	Praia do Forte do Pessegueiro
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
141912	96001





Descrição	Pequena praia (cerca de 80 m de extensão) e areal pouco desenvolvido, sendo limitada a sul por uma arriba sub-vertical com cerca de 9 m de altura e a norte por uma arriba baixa de pendor suave. Tal como acontece na praia do Malhão, estas arribas exibem modelado característico de erosão diferencial, com recuo das litologias menos competentes com destaque e posterior rotura das bancadas de maior resistência à erosão marinha e subaérea. Neste contexto, na arriba sul observa-se uma consola de arenito carbonatado com mais de 10 m de comprimento e balanço superior a 1,5 m. Algumas situações de instabilidade antigas são testemunhadas pela presença de blocos tombados de grandes dimensões ao longo da face e base da arriba, que constituem protecção temporária contra os processos erosivos. Observa-se ainda ravinamentos nas litologias arenosas menos consolidadas das arribas serão responsáveis pelo transporte de material até à base da arriba, destruindo a parte final das escadas de acesso.		
Enquadramento geológico	Estas arribas são constituídas por formações plio-pleistocénicas que assentam em desconformidade sobre um substrato xistento pertencente à Fm. São Luís. Na frente exposta da arriba sul distinguem-se de baixo para cima as litologias da Fm Vermelha, Fm. Aivados-Bugalheira e Arenito dunar do Malhão. Os limites entre estas formações estão bem visíveis e conseguem seguir-se até à arriba norte da praia. No topo das arribas desenvolve-se a cobertura dunar holocénica, mais espessa neste sector..		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Verificado	Incidentes nas formações arenosas subjacentes ao arenito carbonatado (escadas de acesso).
	Queda de blocos	Verificado	Associados aos locais de maior instabilidade.
	Escorregamentos planares	Não verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado	-
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Muito elevada	Média	Médio
Observações	O acesso rodoviário a esta praia é feito pela estrada de acesso ao Forte do Pessegueiro, existindo neste local um parque de estacionamento. As escadas de acesso que dão acesso ao areal encontram-se em mau estado de conservação, sendo que os últimos degraus se encontram destruídos devido às instabilizações na vertente. O Forte do Pessegueiro está localizado muito próximo da crista da arriba sul, pelo que nesta zona da arriba foi implementada uma cortina de betão projectado com o objectivo de impedir o descalce das bancadas carbonatadas. Por último refere-se a existência de dispositivos de drenagem na arriba sul que favorecem a descarga das águas subterrâneas. A sinalização de perigo está disponível na base da arriba sul e nas escadas de acesso, não se tendo observado qualquer placa de aviso no topo das arribas e junto ao forte.		

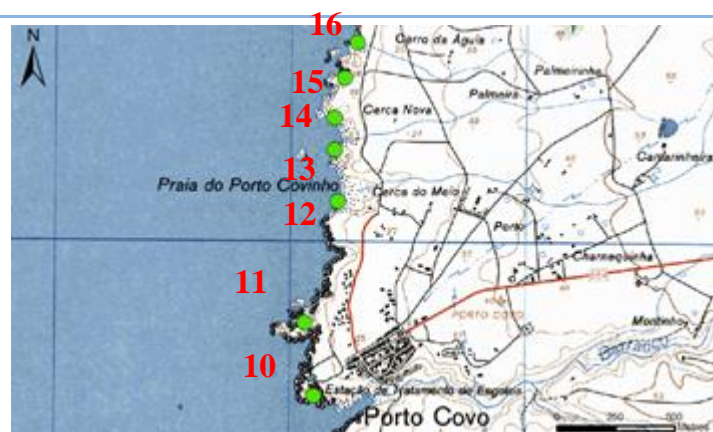
Designação	
10	Praia dos Buizinhos
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
141647	98349





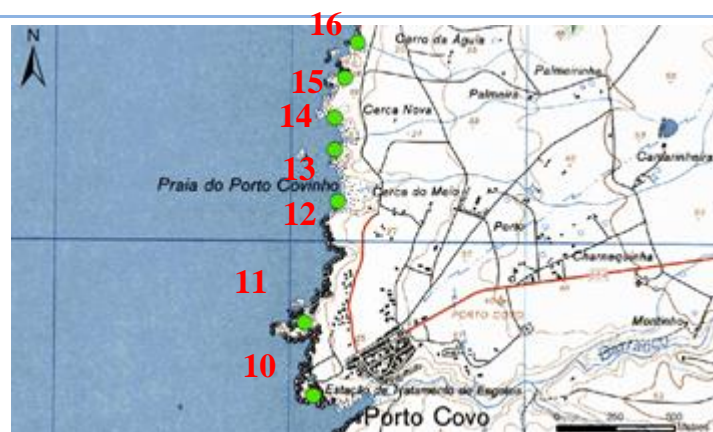
Descrição	A praia dos Buizinhos apresenta-se como uma pequena extensão de areia encaixada entre arribas subverticais de reduzida altura. Neste local observam-se esporádicas situações de potencial instabilidade que passam pelo destaque de alguns blocos de dimensões variáveis na face das arribas a partir da fracturação sub-vertical. Alguns dos blocos com valor de referência encontram-se na arriba Sul, perto da qual se observa igualmente uma cavidade de considerável diâmetro. As escadas de acesso ao areal estão colocadas paralelamente ao traçado da arriba norte, sendo que o seu troço inferior passa directamente sob algumas formações fortemente alteradas e em relevo positivo. Este é um local preferencial de queda de pequenas lâminas de xisto, como atesta o material já instabilizado ao longo dos degraus de acesso.		
Enquadramento geológico	Neste local afloram maioritariamente xistos siliciosos pertencentes à Fm. São Luís. Estas rochas, que se apresentam notavelmente mais alteradas para o topo das arribas, possuem estratificação inclinada para Este pelo que promovem a estabilidade relativamente a deslizamentos sobre estes planos. Ocasionalmente observam-se intrusões de rochas vulcânicas ácidas filonianas. Estas constituem zonas de fraqueza estrutural devido à fracturação induzida às rochas envolventes que ficam assim mais expostas aos agentes erosivos.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Não verificado	-
	Queda de blocos	Verificado	Blocos de pequena dimensão destacados nas zonas superiores das arribas. Existência de blocos de maior volume sem sustentação basal em zonas de subscavação.
	Escorregamentos planares	Não verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado	-
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Média	Muito elevada	Médio
Observações	Esta praia, situando-se já na zona urbana de Porto Covo, é alvo de grande ocupação durante o período balnear. É, contudo, de referir que na maré cheia a água submerge a totalidade do areal, constituindo obstáculo natural à ocupação do local durante este período. A sinalização está bem colocada perto do início das escadas de acesso ao areal, apresentando boa visibilidade. Não se observa, no entanto, a disposição de quaisquer placas na base das arribas..		

Designação	
11	Praia do Banho
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
141714	96613



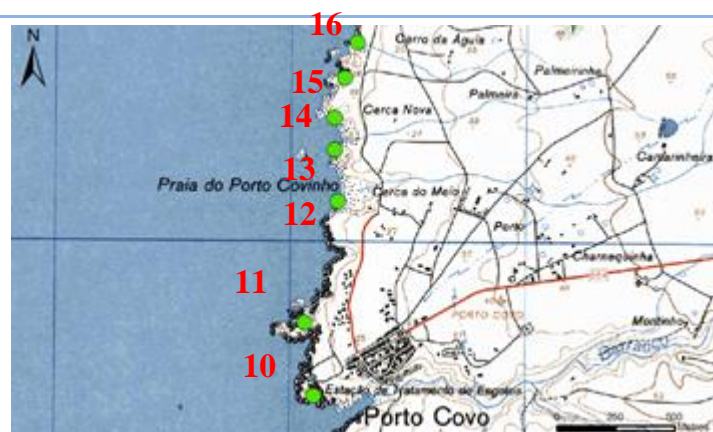
Descrição	Praia urbana de pequena extensão, encaixada entre arribas rochosas subverticais actuadas pela acção marinha e subaérea (precipitação) que favorecem a meteorização superficial do material rochoso. Na crista da arriba sul, perto das escadas de acesso ao areal e ao longo da arriba este observam-se algumas estruturas destacadas pela erosão diferencial e individualização de alguns blocos devido à fracturação sub-vertical. Observam-se ainda pontualmente algumas situações de erosão na base da arriba norte da praia que favorecem o desprendimento de blocos a partir do tecto das cavidades formadas.		
Enquadramento geológico	As arribas desta praia são talhadas em litologias maioritariamente xistentas da Fm. São Luís. A estratificação destes níveis, nos locais menos deformados, inclina em geral para norte, concordante com a orientação da arriba sul e portanto, particularmente desfavorável à estabilidade planar nesta situação.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Não verificado	-
	Queda de blocos	Verificado	Blocos de pequena dimensão variável individualizados a partir dos relevos de erosão diferencial e superfícies de descontinuidade.
	Escorregamentos planares	Não verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado	-
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Média	Muito elevada	Médio
Observações	Tal como nas restantes praias do troço costeiro de Porto Covo, esta praia é bastante frequentada durante a época balnear. É importante referir que na maré cheia a ondulação progride quase até à base da arriba este, efectivamente impossibilitando a ocupação do areal nesta altura. Esta situação inviabiliza igualmente ocupação de uma pequena extensão de areal situada mais a norte e acessível apenas durante a maré baixa. O acesso principal à praia do Banho é feito através de escadas de acesso perto da arriba sul. Refere-se ainda a ausência de vegetação na maioria da frente das arribas.		

Designação	
15	Praia do Cerro da Águia
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
141846	99639



Descrição	Pequena praia localizada a norte da zona urbana de Porto Covo e encaixada entre arribas rochosas subverticais de altura reduzida. Em todas as arribas podem observar-se vários locais fortemente meteorizados em função da deformação evidenciada pela estratificação e pelas diversas famílias de fracturação que facilitam a acção dos agentes erosivos. A arriba este apresenta locais de escorrência superficial, sendo que no limite sul as camadas inclinam para fora da vertente, favorecendo eventual deslizamento de blocos de rocha cuja dimensão variável está associada à compartimentação local do maciço. Verifica-se uma situação de potencial tombamento na base da arriba associada a uma fractura muito penetrante e inclinada para o interior do maciço que destaca um conjunto de nívéis em relevo positivo. Observa-se ainda a cicatriz de um escorregamento planar que mobilizou um volume elevado de material, como se verifica pelos detritos depositados na base da arriba. Junto a esta praia, na crista da arriba sul, observa-se o desenvolvimento de fendas de tracção que destacam um conjunto de blocos em risco iminente de tombamento.		
Enquadramento geológico	Nesta praia observam-se maioritariamente xistos e tufitos da Fm. São Luís localmente muito meteorizados.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Não verificado	-
	Queda de blocos	Verificado	Pequenos blocos nas zonas mais meteorizadas.
	Escorregamentos planares	Verificado	-
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado*	*Possíveis ocorrências associadas às situações já descritas.
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Muito elevada	Média	Médio
Observações	O acesso pedonal a esta praia é feito através das escadas de acesso a partir da arriba sul, sendo que do lado norte se desenvolve um parque de estacionamento. A frente da arriba este apresenta-se coberta por vegetação que testemunha a escorrência superficial e constitui obstáculo à queda de blocos de pequena dimensão. A sinalização de perigo é limitada a um local perto do troço médio das escadas de acesso. A enseada a sul, onde se verificam as situações de maior instabilidade, tem apenas acesso marítimo.		

Designação	
16	Praia da Samoqueira
Coordenadas aproximadas	
M (m)	P (m)
141893	99805






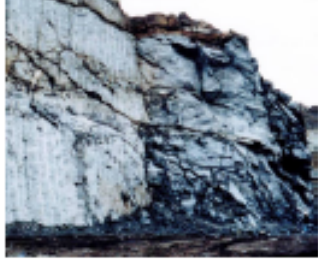

Descrição	A praia da Samoqueira desenvolve-se para norte do Cerro da Águia, integrando-se num troço costeiro caracterizado por pequenas praias e recortado por arribas subverticais de reduzida altura. A acção da erosão marinha é testemunhada pelo intenso recuo basal em diversos pontos da base das arribas, que favorecem a formação de cavidades (e consolas) e imprimem, por vezes, inclinações negativas às arribas. Na zona mais a sul desta praia as arribas apresentam-se bastante deformadas e fracturadas, observando-se várias estruturas em relevo positivo que favorecem o desprendimento de blocos rochosos. Nesta zona, o areal encontra-se coberto por blocos caídos que testemunham este mecanismo evolutivo. Na arriba este observa-se uma cavidade sobre a qual se observam algumas bancadas em relevo positivo, actuadas por fendas de tracção. Uma outra situação observa-se na zona central da praia, correspondente a um maciço cuja estratificação inclina para fora da vertente.		
Enquadramento geológico	Nesta praia observam-se diversas litologias da Fm. São Luís, principalmente xistos e tufitos muito deformados fracturados.		
Mecanismos de instabilidade	Tipologia	Ocorrência	Observações
	Ravinamentos superficiais	Não verificado	-
	Queda de blocos	Verificado	Blocos de dimensões variáveis destacados ao longo de toda a praia
	Escorregamentos planares	Não verificado*	*Possível situação na zona central da praia.
	Cunhas	Não verificado	-
	Tombamentos	Não verificado	-
	Outros	Não verificado	-
Classificação	Perigosidade aparente	Vulnerabilidade	Risco
	Muito elevada	Muito elevada	Elevada
Observações	O acesso à praia da Samoqueira é feito por umas escadas de acesso a partir da arriba sul. O perigo de queda de blocos está bem sinalizado, tanto na crista das arribas como na base. Acrescente-se que, apesar de não existir nenhuma barreira física a este respeito, a interdição das áreas próximas da base das arribas encontra-se referenciada por indicação de um aviso bem visível perto das escadas de acesso. A vegetação existente na face das arribas está associada às escorrências superficiais que se observam principalmente na arriba este.		

ANEXO II – TABELAS UTILIZADAS NA ESTIMATIVA DA CONSTANTE $m_i E$
FACTOR DE PERTURBAÇÃO (D)

Tabela II.A – Valor da constante m_i para vários tipos de rocha. Resultados entre parêntesis correspondem a estimativas. O intervalo de valores adoptado para cada rocha baseia-se nas variações observadas para a sua textura e estrutura cristalina, sendo que os valores mais elevados estão associados a materiais de características mais friccionais (*in* Marinos & Hoek, 2001).







Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (21 ± 3)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
Organic					Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
	Foliated*			Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5		
			Granodiorite (29 ± 3)			
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
		Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
Pyroclastic		Agglomerate (19 ± 3)	Volcanic breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)		

Tabela II.B – Estimativa do factor de perturbação D (Hoek, *et al.*, 2002).

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

ANEXO III – SINALÉTICA DE PERIGO UTILIZADA E RESPECTIVAS DIMENSÕES PARA
EFEITOS DE ESCALA DE ALGUNS REGISTOS FOTOGRÁFICOS

Tabela III – Tipos de sinalética de perigo e suas dimensões (proveniência ARH-Alentejo). Estes elementos foram frequentemente utilizados neste trabalho como escala para os registos fotográficos.

Imagem	Dimensão (largxalt) m
	1,25x1,10
	1,25x0,85
	1,25x0,85
	1,25x0,85
	0,75x1,10
	0,75x1,10